



Daniel Coelho Malveiro
Licenciado Eng.^a Mecânica

Avaliação do Potencial em Portugal de Reutilização de Águas Residuais para irrigação de culturas energéticas

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Energia e Bioenergia

Orientador: Prof.^a Doutora Ana Luísa Almaça da Cruz
Fernando, Prof.^a auxiliar, FCT - UNL

Júri:

Presidente: Prof.^a Doutora Benilde Simões Mendes
Arguente: Prof.^a Doutora Ana Maria Garcia Henriques
Barreiros Joanaz de Melo
Vogal: Prof.^a Doutora Ana Luísa Almaça da Cruz
Fernando



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Dezembro 2013

UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA
FAULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
Departamento de Ciências e Tecnologia da Biomassa

**Avaliação do Potencial em Portugal de Reutilização de Águas Residuais
para irrigação de culturas energéticas**

Daniel Coelho Malveiro

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia
da Universidade Nova de Lisboa para obtenção do grau de
Mestre em Energia e Bioenergia

Orientadora:
Prof.^a Doutora Ana Luísa Almaça da Cruz Fernando

Monte da Caparica
2013

**“Avaliação do Potencial em Portugal de Reutilização de Águas Residuais
para irrigação de culturas energéticas”**

© Daniel Malveiro, FCT/UNL, UNL.

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa, têm o direito perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que direta ou indiretamente me ajudaram a terminar este projeto, especialmente:

À Raquel Amado que desde o início esteve presente, dando o seu apoio incansável, possibilitando a realização desta dissertação bem como de todo o Mestrado de Energia e Bioenergia, sem ela não seria possível.

À minha família, mais concretamente, Pais e Irmão, pelo equilíbrio que ajudaram a manter entre o trabalho, a realização do mestrado e a Família.

À minha orientadora, Professora Doutora Ana Luísa Almaça da Cruz Fernando, pelo seu esforço pessoal e profissional com que me apoiou na orientação da presente Dissertação.

À Mafalda Figueiredo pelo suporte e interesse demonstrado.

Resumo

Atualmente a necessidade de produzir energia com impacte ambiental reduzido e de forma sustentada testa a capacidade do homem de inovar e procurar soluções. Com isto, a reutilização de resíduos apresenta-se como uma fonte, praticamente inesgotável, de soluções sustentáveis, reduzindo ao mesmo tempo o impacte que estes poderiam representar. Neste trabalho, as águas residuais, ÁR's, representam não só a água de irrigação utilizada para a produção de culturas energéticas, CE's, mas também, uma fonte importante de nutrientes. Com o objectivo de avaliar o potencial que Portugal tem para a utilização de ÁR's para a irrigação de CE's, fomos efetuar uma análise de custo-benefício económico social de acordo com o estudo, (Kanyoka and Eshtawi, 2012), para os locais com maior efluente anual e ao mesmo tempo com maior área arável disponível, respectivamente, Évora, 4.609.201m³ e 126.996ha, Figueira da Foz, 2.683.172m³ e 70.616ha, e Santarém com 1.957.584m³ e 73.716ha; (INE, 2011b; INSAAR, 2008). E ainda, para a produção de três CE's identificadas como tendo elevada rendibilidade produtiva, respectivamente, *Beta vulgaris*, 18,1Mg/ha MS, *Miscanthus*, 9,5Mg/ha MS e *Arundo donax*, 9Mg/ha MS; (EEA, 2007), foi verificada a qualidade do efluente de acordo com a qualidade de funcionamento das respectivas ETAR's, bem como as características geográficas, físicas e químicas dos solos para os respectivos locais. Assim, através da consideração de diversos factores e variáveis para o modelo analítico que permitiu a análise custo-benefício determinamos os benefícios para a irrigação das três CE's, nos três locais selecionados, obtendo 201,89M€ para o *Arundo donax* na Figueira da Foz, 15,52M€ para a *Beta vulgaris*, 120,29M€ para o *Arundo donax* e 15,66M€ para o *Miscanthus*, estes três em Évora. Verifica-se que *Arundo donax* na Figueira da Foz e qualquer uma das três CE's ou mesmos todas, em Évora, com destaque o *Arundo donax*, apresentam benefícios na reutilização dos efluentes em irrigação. Podendo assim afirmar que em Portugal, estes dois locais para as CE's referidas, apresentam um elevado potencial de irrigação com ÁR's, com benefícios referentes à produção resultante.

Palavras-chave: Águas residuais, culturas energéticas, irrigação, efluente, custo-benefício.

Abstract

Nowadays the need of producing energy with low environmental impact and in a sustainable way, tests the ability of men to innovate and look for solutions. With this, the reuse of waste is presented as a source, almost inexhaustible, of sustainable solutions, at the same time reducing the impact that waste will be able to represent. In this work, wastewater represents, not only the irrigation water used to produce energetic crops, EC's, but also an important source of nutrients. With the goal of analysing what potential Portugal has, to use wastewater as irrigation water to produce EC's, we perform a socio economic cost-benefit analysis proposed in, (Kanyoka and Eshtawi, 2012), for the places with more annual effluent and at the same time with more arable area available, respectively, Évora, 4.609.201m³ e 126.996ha, Figueira da Foz, 2.683.172m³ e 70.616ha, e Santarém com 1.957.584m³ e 73.716ha; (INE, 2011b; INSAAR, 2008). And yet, to produce three EC's identified with high production yield, respectively, *Beta vulgaris*, 18,1Mg/ha MS, *Miscanthus*, 9,5Mg/ha MS e *Arundo donax*, 9Mg/ha MS; (EEA, 2007), the quality of the effluent was verified according with the wastewater treatment plant operational performance, as the geographic, physical and chemical characteristics of soils for the respective places. Therefore, thru considering several factors and variables for analytic model that allow the cost-benefit analysis, we determined the benefits for the irrigation of the three EC's, in the selected places, resulting in the follow values, 201,89M€ for the *Arundo donax* in Figueira da Foz, 15,52M€ for the *Beta vulgaris*, 120,29M€ for the *Arundo donax* and 15,66M€ for the *Miscanthus*, this three in Évora. We can verify that *Arundo donax* in Figueira da Foz and all of three EC's in Évora, with focus on *Arundo donax*, presents benefit in wastewater reuse for irrigation purposes. So, we can state that in Portugal, these two places with referred EC's, present an high potential of irrigation with WW's, with benefits related to resultant production.

Keywords: Wastewater, energetic crops, irrigation, effluent, cost-benefit.

Índice de matérias

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	iv
Abstract.....	v
Índice de matérias.....	vi
Índice de figuras.....	vii
Índice de tabelas.....	viii
1. Introdução.....	1
1.1. Culturas Energéticas.....	2
1.1.1. Identificação das espécies.....	2
1.1.2. Crescimento das CE's e rendimento da biomassa.....	4
1.1.3. Rendimento Energético.....	6
1.1.4. Qualidade da biomassa irrigada com AR's.....	7
1.2. Águas Residuais, ÁR's.....	9
1.2.1. Constrangimentos e Benefícios.....	12
1.2.2. Efeitos no solo.....	13
1.2.2.1. Concentração total de Sal.....	13
1.2.2.2. Condutividade Eléctrica (<i>Electrical Conductivity, EC</i>).....	13
1.2.2.3. Conteúdo Orgânico de Carbono (<i>Soil Organic Carbon, SOC</i>).....	14
1.2.2.4. Rácio de absorção de Sódio (<i>Sodium Adsorption Ratio, SAR</i>).....	15
1.2.2.5. Iões tóxicos.....	16
1.2.3. Qualidade e quantidade das ÁR's.....	16
1.3. Viabilidade económica da irrigação de culturas energéticas com AR's.....	21
2. Metodologia.....	23
2.1. Seleção da ETAR(s) para avaliação do potencial.....	23
2.2. Qualidade dos efluentes.....	25
2.3. Necessidades hídricas.....	25
2.4. Caracterização dos Solos.....	26
2.5. Análise socioeconómica do custo-benefício.....	27
2.5.1. Benefício Líquido resultante da produtividade da CE, BL.....	27
2.5.2. Benefício da função de recarga do aquífero, BFRA.....	28
2.5.3. Custo da reclamação do solo, CRS.....	29
2.5.4. Custo de deterioração do aquífero, CDA.....	29
2.5.5. Custo capital e operacional da ETAR, CCOET.....	30
2.5.6. Custos para a saúde humana, CS.....	30
2.5.7. Benefícios totais da reutilização de ÁR's.....	31
3. Resultados e Discussão.....	32
4. Conclusão.....	36
5. Bibliografia.....	38

Índice de figuras

Figura 1.1 – índice de stress hídrico para os países da união europeia. Abstrações anuais para o ano 2000 (nos dados mais recentes disponíveis) são divididos pela disponibilidade média anual a longo termo.(Bixio et al., 2006)	10
Figura 1.2 – Potencial de reutilização de AR's estimado em diferentes cenários; (Hochstrat et al., 2006)	12
Figura 1.3 – Nomograma para determinar o SAR (US Salinity Laboratory 1954); (Pescod, 1992)	15

Índice de tabelas

Tabela 1.1 – Espécies de culturas energéticas na Europa; (Venendaal et al., 1997)	3
Tabela 1.2 – Rendimentos das culturas aráveis por zona ambiental (Matéria Seca); (EEA, 2007)	3
Tabela 1.3 – Rendimento estimado das culturas perenes por zona ambiental (Matéria Seca); (EEA, 2007).....	3 3
Tabela 1.4 – Tolerância das culturas identificadas à salinidade e aos metais pesados;.....	4
Tabela 1.5 – Parâmetros bio-agronómicos da Cana-do-Reino irrigada com águas residuais, ÁR's (WW) e água convencional (CW); (Zema et al., 2012).....	5
Tabela 1.6 – Parâmetros bio-agronómicos da Beterraba irrigada com águas residuais, ÁR's (DW ₂) e água convencional (CW); (Singh and Agrawal, 2010).....	6
Tabela 1.7 – Comparação das propriedades combustíveis da <i>P. australis</i> e <i>A. donax</i> com outras culturas energéticas (Bonanno et al., 2013)	7
Tabela 1.8 – Concentrações totais (média ± d) nos órgãos das plantas e a cinza correspondente (ppm)	8
Tabela 1.9 – Análise química às emissões de combustão das diferentes culturas;(Pilu et al., 2012)	9
Tabela 1.10 – Tolerância da cultura, decréscimo expectável do rendimento para algumas culturas devido à salinidade da água de irrigação com a utilização de métodos de irrigação comuns; (Ayers and Westcot, 1976)..... (Pescod, 1992).....	14 15
Tabela 1.11 – Valores médios das amostras dos efluentes de água potável e ÁR; (Tsoutsos et al., 2013)	17
Tabela 1.12 – Rendimento do óleo extraído das sementes; (Tsoutsos et al., 2013)	17
Tabela 1.13 – Propriedades críticas do combustível; (Tsoutsos et al., 2013)	18
Tabela 1.14 – Sumarização da previsão do sistema linear generalizado das taxas de incumprimento, baseadas num escoamento mensal com uma taxa de utilização fixa de 0,69; (Weirich et al., 2011)	19
Tabela 1.15 – Factor de transferência para metais pesados, do solo contaminado para o corpo da planta; (Gupta et al., 2010)	20
Tabela 1.16 – Conteúdo de óleos voláteis e Metais Pesados no extracto alcoólico do Bálsamo e da Lavanda produzidos em solos com diferentes tratamentos; (Mlinarics et al., 2009).	21
Tabela 1.17 – Redução de custos em €/ha/a e em €/kg/N, respectivamente quando é usada ÁR no lugar de fertilizantes comerciais sólidos; (Rosenqvist and Dawson, 2005)	22
Tabela 2.1 – Custos de Implementação e manutenção de um sistema de irrigação com ÁR's, (Rosenqvist and Dawson, 2005), e cálculo da área mínima viável de aplicação;.....	23
Tabela 2.2 – Custos de Implementação e manutenção de um sistema de irrigação com ÁR's, (Rosenqvist and Dawson, 2005), e cálculo da distância máxima viável de aplicação;	23
Tabela 2.3 – Concelhos com o maior volume de efluente [m ³] e área total arável [ha]; (INE, 2011b; INSAAR, 2008).....	24
Tabela 2.4 – ETAR's referentes aos 10 concelhos seleccionados com maior volume de efluente e área arável por tipologia do terreno;.....	24

Tabela 2.5 – Evapotranspirção de referência pelo método de <i>Penman-Monteith</i> , ET_0 e factor cultural de cada CE, k_c ; (Brouwer and Heibloem, 1986; Costello et al., 2000; IM, 2012)	26
Tabela 2.6 – Caracterização dos solos, próximos das ETAR's selecionadas, segundo HWSD; (Nachtergaele and Batjes, 2012)	27
Tabela 2.7 – Função da Produção da Cultura, valores anuais; (Angelini et al., 2009; FAO, 2009; Heaton et al., 2004; Kanyoka and Eshtawi, 2012; Panella, 2010; Rosenqvist and Dawson, 2005; Williams, 2010).....	28
Tabela 2.8 – Benefício da função de recarga do aquífero, valores anuais; (Kanyoka and Eshtawi, 2012; Muñoz and Grieser, 2006; Savva and Frenken, 2002).	29
Tabela 2.9 – Custo da redução de produtividade, valores anuais; (Fahnestock et al., 1996; FAO, 2009; Heaton et al., 2004; Williams, 2010)	29
Tabela 2.10 – Custo de deterioração do aquífero, valores anuais; (Haruvy, 1997; Muñoz and Grieser, 2006)	30
Tabela 2.11 – Custo capital e operacional da ETAR, valores anuais; (Haruvy, 1997; Muñoz and Grieser, 2006).....	30
Tabela 2.12 – Custos para a saúde humana, valores anuais; (Ederer, 2006; Hutton and Haller, 2004; INE, 2011a; INE, 2011b; INE and IGP, 2011);	31
Tabela 3.1 – ETAR's com potencial elevado para reaproveitamento do efluente descarregado, em irrigação de CE's;	33
Tabela 3.2 – Qualidade de serviço das ETAR's e/ou cumprimento dos parâmetros de descarga;	33
Tabela 3.3 – Capacidade de irrigação por ETAR e por cultura; (Brouwer and Heibloem, 1986)	34
Tabela 3.4 – Análise físico-química da ETAR Figueira da Foz, 02-12-2012;	35
Tabela 4.1 – Análise custo-benefício da reutilização de ÁR's para irrigação de CE's em Portugal;	36

1. Introdução

O Homem desde sempre utilizou todos os produtos e subprodutos disponíveis na natureza para a sua sobrevivência, respondendo assim a necessidades primárias, como alimentação e conforto térmico. Para ambas, a produção de energia na sua forma mais básica, calor, seria fundamental, sendo este, um dos primeiros grandes desafios ultrapassados pelo o Homem.

A produção de energia, sob as mais variadas formas foi sempre uma necessidade constante, pois à medida que o Homem evoluía esta crescia. Em determinadas fases da evolução, a produção de energia poderia ser considerada sustentável, pois recorria-se a fontes de energia primárias como o sol e as matérias-primas, como a madeira, para dar resposta a necessidades primárias, onde a produção e o consumo ocorriam em locais próximos.

No entanto, com a velocidade de crescimento do Homem e com as suas necessidades primárias satisfeitas, procurava agora responder a necessidades secundárias, estas com maior dificuldade de satisfação. De acordo com a tecnologia disponível para explorar os recursos energéticos referidos, o Homem teve que procurar outros, com potenciais mais elevados, recorrendo a recursos fósseis, gás natural, carvão e petróleo. A utilização dos recursos fósseis viria alterar a sustentabilidade do processo de produção de energia, pois estes resultam de processos naturais que demoram milhões de anos a ocorrer, enquanto que o seu consumo decorre em segundos, verificando-se, também, elevadas perdas associadas à distância entre a produção e o seu consumo. Por estas razões os recursos fósseis são também conhecidos por não-renováveis.

Atualmente, não só, mas também devido à especulação da escassez dos recursos não renováveis o Homem procura encontrar novas formas ou tecnologias para explorar recursos que, ao contrário dos não-renováveis, poderão ser produzidos com proximidade ao seu local de consumo e em tempo curto. Dos recursos renováveis disponíveis, sem dúvida que a energia primária do Sol e tudo o que de si resulta, o vento, as ondas e as marés, são os que apresentam maior potencial identificado, mas ainda há muito por explorar, devido à falta de tecnologia de transformação desses recursos em energia eléctrica ou térmica. No entanto, recursos como a biomassa lenho-celulósica, que já teria sido explorada no passado vastamente, é agora objecto de estudo pelo maior conhecimento disponível das espécies herbáceas e arbóreas.

Paralelamente à exploração das culturas de diferentes espécies para a utilização do seu valor combustível potencial, conhecidas por culturas energéticas (CE's), existe a exploração agrícola para fins alimentares de algumas espécies que são comuns às CE's. Assim, foi importante encontrar outras espécies em que por um lado, a sua produção fosse sustentável e por outro não colidisse com o espaço disponível e utilizado para as produções alimentares, bem como outras atividades que utilizam biomassa lenho-celulósica como matéria-prima. Espécies que não apresentam qualquer valor alimentar mas algum ou bastante valor combustível são agora, identificadas como as adequadas. Como tal, recorrendo a terrenos não aproveitados ou baldios é possível tornar a exploração das CE's mais sustentável. Com o conhecimento atual pode-se utilizar todos os processos naturais, avaliando através de análise de ciclo de vida onde poderão ser melhorados e tornados mais eficazes, desde a produção ao consumo, bem como à reutilização das matérias-primas (*from cradle to grave*).

A produção de energia através da transformação da biomassa lenho-celulósica deverá ser encarada como um complemento a outros processos de produção e não como a solução para

todas as necessidades energéticas, longe disso. Avaliando o espaço necessário à plantação das CE's e o espaço disponível, rapidamente concluímos que este, não é suficiente devido a aspectos edafoclimáticos entre outros.

Esta tese tem, assim, como objectivo não só a identificação de espécies que poderão ser utilizadas como recurso energético renovável em Portugal, mas também a valorização de águas residuais (ÁR's) como um recurso renovável, ainda pouco reconhecido como tal. Por outro lado, a aplicação das ÁR's na irrigação das espécies energéticas identificadas, conhecidas também como culturas energéticas, apresenta uma solução à escassez de água potável e encontra uma aplicação para as ÁR's que por vezes estão enriquecidas com nutrientes, bem como elementos não tão benéficos para o ambiente. Assim, no lugar de desequilibrar o ecossistema para onde são devolvidas, são utilizadas para o crescimento das CE's podendo estas absorver ainda os elementos que poderão prejudicar o ambiente, contendo-os em cinzas reutilizáveis para outras aplicações.

1.1. Culturas Energéticas

1.1.1. Identificação das espécies

As culturas energéticas são culturas lenho-celulósicas ou herbáceas produzidas especificamente pelo seu valor combustível; (FAO, 2004). Estas podem ser de forma simplificada categorizadas em três grupos, no primeiro grupo encontramos as lenho-celulósicas, a talhadia de curta rotação, (Short Rotation Coppice, SRC), o Salgueiro, o Álamo e o Eucalipto; ainda nas lenho-celulósicas encontramos as herbáceas perenes (como *Miscanthus*, *Phalaris*/Caníço-malhado, *Cynara* e *Triticale*). Num segundo grupo as culturas oleaginosas (Colza, Soja e Girassol) para a produção de biodiesel. E um terceiro grupo com as culturas com conteúdo de açúcar (como a beterraba, cana do açúcar e o sorgo doce) para a produção de Bioetanol via fermentação; (EEA, 2007; Venendaal et al., 1997).

Baseado em relatórios nacionais é possível identificar uma vasta diversificação de espécies cuja sua produção já foi testada na Europa, (*tabela 1.1*); (Venendaal et al., 1997).

Tabela 1.1 – Espécies de culturas energéticas na Europa; (Venendaal et al., 1997)

Nome Latim	Nome Comum	Hectares
<i>Brassica spp.</i>	Colza	800 000
<i>Eucaiyptus spp.</i>	Eucalipto	500 000
<i>Helianthus annuus</i>	Girassol	91000
<i>Salix spp.</i>	Salgueiro	18000
<i>Triticum aestivum</i>	Trigo de Inverno	
<i>Secaule cereale</i>	Centeio de inverno (CG)	
<i>Triticosecaule</i>	Triticale (Cereal híbrido)	
<i>Hordeum vulgare</i>	Cevada (GC)	
	Total de CG	
	(Cultura de Grãos)	
<i>Beta vulgaris</i>	Beterraba	9400
<i>Phalaris arundinacea</i>	Caníço-malhado	6250
<i>Populus spp.</i>	Álamo	4050
<i>Cannabis sativa</i>	Cânhamo	550
<i>Miscanthus spp.</i>	Miscanthus	350
<i>Hibiscus cannabinus</i>	Kenaf	170
<i>Cynaru cardunculus</i>	Cardo	65
<i>Sorghum bicolor</i>	Sorgo sacarino	55
<i>Alnus spp.</i>	Amieiro	22
<i>Arundo donax</i>	Cana-do-Reino	15
<i>Helianthus tuberosus</i>	Alcachofra de Jerusalém	3
<i>Camelina sativa</i>	Falso linho	2
<i>Robinia pseudoacacia</i>	Robina Pseudoacácia	2
<i>Bunias orientalis</i>	Buchina	2

No entanto, as espécies apresentadas na tabela anterior irão apresentar rendimentos diferentes de acordo com as diferentes zonas ambientais onde serão produzidas. Assim, caracterizando Portugal como *Atlantic Central-Lusitanian (ATC-LUS)*, relativamente à sua zona ambiental, podemos identificar os rendimentos para as diferentes culturas energéticas para a respectiva zona, tabelas 1.2 e 1.3; (EEA, 2007).

Tabela 1.2 – Rendimentos das culturas aráveis por zona ambiental (Matéria Seca); (EEA, 2007)

[Mg MS/ha]	Colza	Girassol	Beterraba	Milho	Trigo	Cevada	Sorgo sacarino
ATC-LUS	3	2,3	18,1	8,6	6,9	6,1	8,1

Tabela 1.3 – Rendimento estimado das culturas perenes por zona ambiental (Matéria Seca); (EEA, 2007)

[Mg MS/ha]	SRC Álamo	SRC Salgueiro	Miscanthus	Caníço-m.	Cana-do-reino	Switchgrass
ATC-LUS	7,5	7,5	9,5	6,2	9	8

Através das tabelas anteriores podemos concluir que o maior rendimento verifica-se para as culturas da Beterraba, Miscanthus e Cana-do-Reino (*Arundo donax*). Este tipo de

culturas que, geralmente, são caracterizadas pelos elevados rendimentos por hectare e relativamente baixo stress ambiental, aparecem bem classificadas entre outras. Estas deverão ser, também, economicamente eficientes quanto à sua produção, colheita e transporte, quando usadas como matéria-prima para biolíquidos de segunda geração. Podemos assim, prever que as culturas perenes e de talhadia de curta rotação sejam mais importantes no mix de culturas energéticas; (EEA, 2007).

Para a seleção de culturas energéticas com boa produtividade quando irrigadas por águas residuais, será importante, para além do descrito anteriormente, verificar a qualidade do efluente que será responsável pela qualidade do solo. Assim, permite-nos identificar as CE's mais adequadas às condições edafoclimáticas presentes. (Pescod, 1992)

Diversas características físico-químicas do efluente deverão ser consideradas, tais como, a salinidade, a condutividade eléctrica, a concentração de iões positivos como o Ca^{++} , Mg^{++} , e Na^+ , a concentração de iões como o Boro e Cl e metais pesados, que podem ser fitotóxicos, as concentrações de nutrientes (nomeadamente o azoto), a quantidade de sedimentos suspensos e a presença de nematóides intestinais e de coliformes fecais. (Pescod, 1992).

Nem todas as plantas reagem à salinidade de maneira semelhante, algumas culturas poderão produzir rendimentos aceitáveis em solos bastante salinos e outras não. No entanto, quando a água de irrigação apresenta alguma salinidade (i.e. 0,7-3,0 dS/m), podemos verificar a fracção lixiviada requerida para manter o solo dentro da tolerância da cultura; (Pescod, 1992). A tolerância relativa ao sal, da maioria das culturas, é conhecida o suficiente para permitir a existência de uma classificação. Esta, é efectuada de acordo com a tolerância e sensibilidade da cultura à salinidade; (Maas, 1993).

Tabela 1.4 – Tolerância das culturas identificadas à salinidade e aos metais pesados;

	Salinidade	Metais pesados*	
Beterraba	Tolerante	Tolerante	(Pescod, 1992)
Cana-do-Reino	Tolerante	Tolerante	(Bonanno et al., 2013); (Zema et al., 2012)
Miscanthus	Tolerante	Tolerante	(Ezaki et al., 2008)

* As três CE's demonstraram tolerância a diferentes metais pesados, B, Cd, Hg, Na, Mn, Mg, Ni, Pb, etc., no entanto das três, umas são mais tolerantes que outras para diferentes metais pesados respectivamente.

Relativamente às restantes características físico-químicas dos efluentes de ÁR's anteriormente referidos, deverá ser verificada a quantidade presente das diversas substâncias, algumas, de acordo com legislação disponível, outras, dependentes de outros aspectos, como o método de irrigação seleccionado; (Pescod, 1992).

Podemos assim esperar um bom rendimento de produtividade em Portugal, com irrigação de ÁR's, para as CE's referidas.

1.1.2. Crescimento das CE's e rendimento da biomassa

O Miscanthus tem um sistema fotossintético C_4 , pode atingir os 4m de altura, a colheita anual é efectuada desde o outono até ao início da primavera, tem um tempo de rotação de 15 anos e propagação vegetativa, por rizomas, leva cerca de 3 anos a estabelecer-se. Além disso, tem não só uma reduzida necessidade de pesticidas mas também uma necessidade hídrica baixa.

A fertilização poderá ser apenas necessária no primeiro ano, entre os 50kg e os 100kg de N nos países do sul da Europa (EEA, 2007).

Duas grandes barreiras foram identificadas como proibitivas de maiores desenvolvimentos na produção de *Miscanthus*, a primeira é o conhecido problema da fraca capacidade da cultura sobreviver ao primeiro inverno que ocorre principalmente nas regiões norte da UE. A outra são os custos associados ao estabelecimento da cultura, que é bem superior a outras culturas energéticas como o *Salix* ou Caniço-malhado; (Venendaal et al., 1997).

A Cana-do-Reino (*Arundo donax*) tem um sistema fotossintético C₃, pode atingir os 5m, a colheita é efectuada desde o outono até ao início da primavera, tem um tempo de rotação de 15 anos e propagação vegetativa, por rizomas. Tem uma reduzida necessidade de pesticidas (poderá apenas de necessitar no primeiro ano), as necessidades de fertilização são superiores às herbáceas C₄ e a necessidade hídrica é média. (EEA, 2007)

Tabela 1.5 – Parâmetros bio-agronómicos da Cana-do-Reino irrigada com águas residuais, ÁR's (WW) e água convencional (CW); (Zema et al., 2012)

Parâmetros Bio-agronómicos	Espécies experimentais		
	<i>Arundo donax</i>		
	ÁR (WW)	CW	Dif.(%)
Profundidade da Planta após o transplante (%)	11,0	10,0	10,0
Altura máx. (m)	3,360	3,620	-7,20
Diâmetro máximo do caule (mm)	14,30	15,20	-5,90
Índice da área média da folha LAI (m ² /m ²)	7,760	8,010	-3,10
Rendimento matéria seca (kg/m ²)	Médio	4,540	4,650
	Máx.	6,430	6,790
			-5,30

O Crescimento reduzido (-7,2% em altura, -5,9% no diâmetro do caule e -3,1% no LAI) foi verificado para as plantas irrigadas com ÁR comparativamente com as irrigadas com CW (Tabela 1.5). Como consequência, o rendimento da matéria seca foi ligeiramente inferior no caso das plantas irrigadas com ÁR's, com os valores médios e máximos reduzidos em 2,4% e 5,3% comparando com as plantas irrigadas com CW; (Zema et al., 2012). No entanto, quando comparando os benefícios socioeconómicos e ambientais associados à irrigação com ÁR's, com a redução de produtividade verificada, esta poderá não ser significativa, tornando a irrigação desta CE com ÁR's uma pratica bastante promissora; (Wade Miller, 2006)

A Beterraba (*Beta vulgaris*) é uma cultura bem estabelecida, o que significa que os produtores possuem o conhecimento necessário para a sua produção. Em França, 6250ha de Beterraba foram colhidos para produção de energia (etanol/ETBE) em 1995 numa média de 70t/ha. (Venendaal et al., 1997). A Rotação da cultura é recomendada e necessária 3 em 3 anos, uma vez que consome bastante nutrientes do solo. Os seus frutos são colhidos anualmente após o primeiro ano. Cresce num clima temperado, em contraste com a cana do açúcar, que apenas cresce nas zonas tropicais e subtropicais.

Tabela 1.6 – Parâmetros bio-agronômicos da Beterraba irrigada com águas residuais, ÁR's (DW₂) e água convencional (CW); (Singh and Agrawal, 2010)

Parâmetros Bio-agronômicos (valores aproximados)	Espécie experimental		
	<i>Beta vulgaris L.</i>		
	ÁR (DW ₂)	DC	LC
Biomassa da raiz (g/planta)	0,45	0,4	0,41
Comprimento da raiz (cm)	9	11	13
Comprimento dos rebentos (cm)	28	21	26
Área da folha (cm ² /planta)	130	120	125
Rendimento (g/planta)	35	32	30

DC: águas subterrâneas de Dinapur, LC: águas subterrâneas de Lohta, (água convencional CW).

O comprimento dos rebentos bem como o número de folhas são significativamente mais elevados para as plantas irrigadas com ÁR's, quando comparado com aquelas que são irrigadas com águas subterrâneas.(Singh and Agrawal, 2010).

Outra CE cujo o seu potencial já terá sido identificado, quando irrigado com ÁR's, é o Salgueiro (*Salix spp.*), onde os rendimentos da sua produção com ÁR's verificaram-se iguais ou superiores a produções que utilizam água convencional e fertilizantes; (Hasselgren, 1998). No sul da Suécia foram efectuados testes de campo utilizando as ÁR's, lamas e resíduos de águas lixiviadas, onde o efluente de ÁR proveniente do tratamento secundário aplicado 6mm/d apresenta quantidades de NPK respectivamente, 166kg N, 22kg P e 174kg K (rácio N:P:K = 100:14:105), baseado numa análise de 3 anos. Esta quantidade de nutrientes, à exceção do potássio, encontram-se dentro das quantidades necessárias a uma plantação de Salgueiros. Conclui-se assim que as ÁR's oferecem um crescimento potencial dos Salgueiros, razoável e seguro; (Hasselgren, 1998).

1.1.3. Rendimento Energético

No *Arundo donax*, o valor calorífico de diferentes partes aéreas de um número de populações desta CE produzidas na Grécia, encontra-se entre 17,3 a 18,8 MJ/kg (Caule) e 14,8 a 18,2 MJ/kg (folhas) MS, dependendo da população e períodos de crescimento. As amostras de folhas produzidas sem irrigação apresentam um valor calorífico estatisticamente superior (17,2 MJ/kg MS) em comparação com as culturas irrigadas (16,1 MJ/kg MS); (Lewandowski et al., 2003). O máximo rendimento da biomassa seca irrigada com ÁR's é superior ao referido anteriormente, PCS: 18,2 MJ/kg e PCI: 4,6 MJ/kg. A diferença é presumivelmente superior graças a maior densidade de cultivo (cerca de 6 plantas/m² comparando com 2-4 plantas/m² de outras investigações). No entanto, neste estudo, (Zema et al., 2012), o crescimento e o rendimento é inesperadamente superior nas plantas irrigadas com CW comparativamente com as plantas irrigadas com ÁR's. Este resultado pode estar relacionado com a variabilidade espacial das amostragens, as diferenças entre o LAI e o rendimento da biomassa e com os dois tipos de irrigação. (Zema et al., 2012).

Na tabela 1.7 podemos observar que a *Phragmites australis* apresenta maiores valores caloríficos que as outras CE's, especialmente o Salgueiro. O referido estudo mostra que *P. australis* e *Miscanthus × giganteus* têm valores caloríficos semelhantes. O *Miscanthus gigante* é

bastante cultivado na Europa como biomassa para bioenergia e biocombustíveis. Valores semelhantes entre as herbáceas comuns e o *Miscanthus gigante* confirmam o uso de *P. australis* como uma espécie energética. Ao contrário da maioria das CE's a *P. australis* tem ainda a vantagem de crescer naturalmente nas zonas pantanosas por todo o mundo, formando zonas densas de monocultura com uma elevada produção de biomassa. Algumas CE's podem tornar-se espécies invasivas como reportado, em particular, para a *A. donax* e a *Miscanthus × giganteus*. Assim, o uso destas espécies deverá considerar não só o seu *output* energético mas também o seu impacto ecológico, no caso de proliferação intencional; (Bonanno et al., 2013).

Tabela 1.7 – Comparação das propriedades combustíveis da *P. australis* e *A. donax* com outras culturas energéticas (Bonanno et al., 2013)

		<i>Phragmites australis</i>	<i>Arundo donax</i>	<i>Phalaris arundinacea</i>	<i>Typha latifolia</i>	<i>Miscanthus × giganteus</i>	<i>Salix caprea</i>
Análise Próxima (peso.%)	Humidade	8.63 ± 0.47	11.3 ± 0.33	7.33 ± 0.28	7.05 ± 0.69	5.62 ± 0.44	6.71 ± 0.38
	Cinzas	7.45 ± 0.21	6.32 ± 0.36	8.42 ± 0.22	7.63 ± 0.52	2.58 ± 0.10	2.05 ± 0.44
	Voláteis	73.5 ± 2.21	70.2 ± 3.12	73.7 ± 1.78	71.8 ± 1.13	84.6 ± 3.24	79.3 ± 0.30
	Carbono	10.4 ± 0.75	12.1 ± 0.35	10.5 ± 0.68	13.5 ± 0.51	7.08 ± 0.47	11.9 ± 0.30
Análise Última (peso.%)	Carbono	47.2 ± 1.68	45.2 ± 0.87	43.6 ± 2.05	42.4 ± 3.10	49.5 ± 2.51	43.4 ± 0.20
	Hidrogénio	8.12 ± 0.52	6.90 ± 0.36	5.93 ± 0.18	5.46 ± 0.33	7.21 ± 0.45	5.50 ± 0.10
	Oxigénio	35.7 ± 1.73	40.2 ± 2.12	42.9 ± 1.57	43.2 ± 2.56	37.4 ± 2.82	40.2 ± 0.30
	Enxofre	0.22 ± 0.01	0.17 ± 0.01	0.08 ± 0.01	0.11 ± 0.01	0.10 ± 0.01	<0.01
	Azoto	1.35 ± 0.01	1.21 ± 0.01	0.60 ± 0.01	0.92 ± 0.01	0.84 ± 0.01	0.60
Poderes Caloríficos (MJ/kg)	Cloro	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.01
	PCS	19.5	18.4	18.2	17.9	19.6	17.5
	PCI	18.1	17.2	16.7	16.8	18.3	16.1

1.1.4. Qualidade da biomassa irrigada com AR's

Uma prática sustentável é usar CE's para limpar terras poluídas ou para tratar de ÁR's em pântanos construídos para esse efeito. Assim, não seriam utilizados outros terrenos aráveis, para a produção de biocombustíveis, que desta forma estariam disponíveis para produção de culturas alimentares. No referido estudo, as CE's desenvolveram-se num local onde a água disponível era proveniente de esgoto doméstico e de pluviais de estrada. (Bonanno et al., 2013).

As ÁR's de diferentes tipos de tratamento, usadas na irrigação de CE's, poderão conter alguns resíduos tóxicos. Ao avaliar as cinzas resultantes da combustão da biomassa proveniente dessas CE's, é possível verificar qual a parte da planta que retém maior quantidade de materiais tóxicos, como os metais pesados, e consequentemente, se as cinzas poderão ser reaproveitadas para fertilização de novas culturas ou outros fins. O reaproveitamento ou tratamento das cinzas irá ter um papel importante nos custos e na respectiva viabilidade de todo o processo de produção de energia através de biomassa irrigada com ÁR's.

Em conformidade com outros autores, Bonanno et al., concluíram que o principal sumidouro de os metais pesados são os sedimentos, que atuam como a principal fonte de metais pesados captados pelas micrófitas. As Micrófitas como a *P. australis* e a *A. donax* são, geralmente, mais influenciadas pelos metais nos sedimentos que os presentes na água, consequentemente, a bioacumulação é superior quando os sedimentos se encontram fortemente contaminados por metais pesados. Contudo, as elevadas concentrações destes elementos, são encontradas nos

organismos subterrâneos, assim, os órgãos aéreos, que são colhidos para produção de biomassa, deverão ser considerados como ambientalmente seguros e mais adequados para uma potencial reciclagem; (Bonanno et al., 2013).

A tabela 1.8 apresenta a análise da concentração de metais presentes nas cinzas e nas plantas, em duas partes, folhas e caule. Um importante resultado que emerge da análise química dos diferentes tecidos é que o conteúdo de metal presente nas cinzas reflete o conteúdo de metal nas plantas. As folhas provenientes das amostragens das plantas mostram maiores concentrações que os respectivos caules das mesmas amostragens, esta tendência foi igualmente verificada entre amostras de cinzas resultantes da combustão das plantas. Vários académicos descobriram que as concentrações dos diferentes elementos presentes nas cinzas dependem de diferentes factores, como o tamanho da partícula, a fracção selecionada e o método do tratamento; (Bonanno et al., 2013). A análise do referido estudo mostra que as concentrações de metal foram, significativamente, menores que os limites legais, de vários países, para a reutilização das cinzas na agricultura e florestação. Assim, o resultado sugere uma potencial aplicação das cinzas como fertilizante sem necessidade de mais despesa (e.g. eliminação em aterros). Os custos reduzidos, a elevada produtividade e a proximidade entre os locais de produção e utilização são os pressupostos para que estes processos de energia renovável sejam implementados com sucesso; (Bonanno et al., 2013).

Tabela 1.8 – Concentrações totais (média \pm d) nos órgãos das plantas e a cinza correspondente (ppm)

Elemento	Órgão	Tecidos da Planta		Cinzas		Cinzas/Planta rácio	
		P. australis	A. donax	P. australis	A. donax	P. australis	A. donax
Cd	Folha	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	–	–
	Caule	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	–	–
Cr	Folha	0.15 \pm 0.02	1.44 \pm 0.25	0.22 \pm 0.04	3.15 \pm 0.31	1.47	2.19
	Caule	0.08 \pm 0.01	0.37 \pm 0.05	0.14 \pm 0.02	0.87 \pm 0.06	1.75	2.35
Cu	Folha	2.60 \pm 0.34	7.17 \pm 1.56	3.67 \pm 0.45	12.6 \pm 0.88	1.41	1.76
	Caule	1.12 \pm 0.14	3.21 \pm 0.72	1.87 \pm 0.31	5.24 \pm 0.41	1.67	1.63
Mn	Folha	23.0 \pm 4.12	11.2 \pm 2.32	68.7 \pm 8.32	23.8 \pm 3.21	2.99	2.13
	Caule	5.65 \pm 0.87	4.38 \pm 0.73	14.5 \pm 2.15	10.1 \pm 1.53	2.57	2.31
Ni	Folha	3.98 \pm 0.65	2.45 \pm 0.17	6.13 \pm 0.56	4.22 \pm 0.50	1.54	1.72
	Caule	1.27 \pm 0.22	1.03 \pm 0.09	2.64 \pm 0.55	1.82 \pm 0.13	2.08	1.77
P<	Folha	5.82 \pm 0.60	7.70 \pm 0.65	12.3 \pm 1.47	17.5 \pm 1.38	2.12	2.28
	Caule	3.61 \pm 0.21	6.42 \pm 0.72	8.43 \pm 0.69	13.9 \pm 1.72	2.34	2.17
Zn	Folha	10.2 \pm 0.85	5.31 \pm 0.58	19.5 \pm 2.08	10.8 \pm 1.37	1.91	2.04
	Caule	6.32 \pm 0.39	4.83 \pm 0.41	11.1 \pm 1.72	10.3 \pm 1.36	1.76	2.15

A combustão direta da biomassa para a produção de calor é a tecnologia mais eficiente para a redução das emissões de GEE, pois é caracterizada por poucas etapas, desde a colheita da biomassa até à utilização final de energia, através da queima de culturas poli-anuais. No estudo realizado por Pilu et al. para as CE's *A. donax* e *Miscanthus sinensis*, com duração de 12 anos, verificou-se que a primeira cultura apresentou o índice de EROI (Energy Returned on Energy Invested) mais elevado (53 ± 20) do que a segunda (39 ± 18). Provavelmente, este valor para *A. donax*, verifica-se devido ao seu valor calorífico, que é semelhante aos materiais lenho-celulósicos, ao reduzido *input* necessário ao cultivo e ao elevado rendimento de matéria seca produzida por hectare cultivado. No entanto, apesar de *A. donax* apresentar um balanço energético excelente, as emissões de combustão mostram, conforme a tabela 1.9, elevadas

concentrações no pó total e nas partículas < 1 µm, de alguns componentes que prejudicam a saúde humana e o ambiente; (Pilu et al., 2012)

Tabela 1.9 – Análise química às emissões de combustão das diferentes culturas;(Pilu et al., 2012)

Parâmetro	AD	PV	MI	PO
	mg/m3			
Poeira total	102	58	27	21
< 1 µm	67	50	16	16
NOx	363	368	187	106
HCl	67	18	59	3
SO2	278	91	53	3
CO	443	145	55	1

AD: *Arundo donax*; PV: *Panico virgatum*; MI: *Miscanthus*; PO: *Poplar*.

O *A. donax* poderá vir a ser uma CE importante devido ao seu elevado rendimento e capacidade de crescer em terrenos marginais, no entanto, deverá ter-se em atenção o uso excessivos de solos aráveis, potenciais à utilização de produções alimentares. O interesse crescente por esta CE, vem desafiar os geneticistas sobre como melhorar esta planta. Os programas de desenvolvimento para estas espécies irão ter em conta aspectos como a produção de biomassa por hectare, a capacidade de propagação eficiente por rizomas e o conteúdo de lenhina. Do ponto de vista agronómico, melhores práticas de cultivo deverão ser desenvolvidas, em particular a redução do custo de gestão dos rizomas. Para a combustão directa de *A. Donax* em pellets ou briquetes, será necessário resolver o problema da reduzida qualidade das emissões provenientes da combustão, enquanto que os processos de produção de Bioetanol parecem, no momento, ser a melhor solução de utilização da biomassa lenho-celulósica obtida desta planta.

1.2. Águas Residuais, ÁR's

A Europa tem bastantes recursos de água comparando com outras regiões do mundo, e a água tem sido, desde muito tempo, considerada como uma comodidade pública inesgotável. Esta postura tem no entanto, sido desafiada pelo aumento do stress hídrico, tanto na escassez da água como na deterioração da sua qualidade; (Bixio et al., 2006). Assim, a reutilização da água pelo aproveitamento de águas residuais, poderá ser uma forma ecologicamente eficiente para reduzir a sua escassez e tornar a sua gestão mais sustentável em países onde o consumo é elevado e/ou a água é escassa. A implementação desta prática, necessita de supervisão dos respectivos intervenientes, interessados em conhecerem os benefícios, sem esquecerem os seus riscos e perigos; (Sa-nguanduan and Nititvattananon, 2011). A reutilização e reciclagem das ÁR's é bastante importante, para os países da UE, porque, aumenta o recurso de água disponível, reduz a eutrofização e dependendo da aplicação/processo de reutilização, reduz custos da utilização de água e energia consumida no processo; (Angelakis and Durham, 2008).

Portugal, no ano de 2000, apresentava um índice de stress hídrico próximo dos 15%, contrastando com a Espanha com aproximadamente 25%. O índice de stress hídrico – o rácio da

água retirada ao ambiente pelo país com o total de recurso hídrico disponível – serve como um indicador para a pressão exercida sobre o recurso da água. Com valores menores a 10%, o índice de stress hídrico é considerado baixo. Entre os 10%-20% indica que a disponibilidade da água começa a ser um constrangimento no desenvolvimento e que investimentos significativos serão necessários para providenciar um fornecimento adequado de água. A cima dos 20%, é suposto necessitar de uma gestão compreensiva para equilibrar o fornecimento e a procura, para resolver conflitos entre usos competitivos; (Bixio et al., 2006).

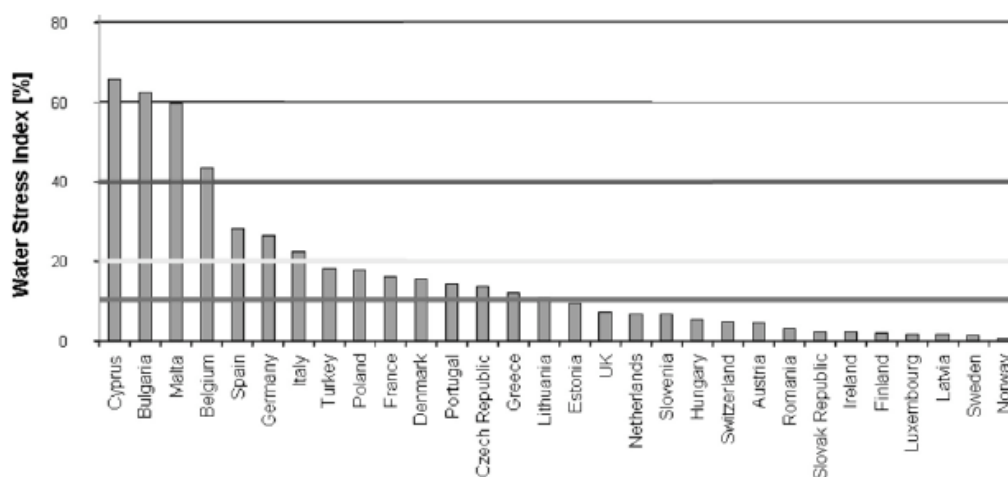


Figura 1.1 – índice de stress hídrico para os países da união europeia. Abstrações anuais para o ano 2000 (nos dados mais recentes disponíveis) são divididos pela disponibilidade média anual a longo termo.(Bixio et al., 2006)

Os principais critérios para a decisão de aproveitamento de águas residuais são a qualidade do efluente e os benefícios económicos; (Sa-nguanduan and Nititvattananon, 2011). Como a tecnologia atual desenvolvida para tratamento e purificação de ÁR's, permite produzir água a praticamente qualquer qualidade desejável, fica por verificar a viabilidade económica do respectivo processo, para avaliar a reutilização, em cada caso específico. Algo que poderá afectar tanto a viabilidade económica do processo, das infraestruturas e da qualidade do efluente são as alterações climáticas, sendo estas um dos principais desafios para os sistemas de ÁR's urbanas nas próximas décadas; (Langeveld et al., 2012). O impacto das alterações climáticas é considerado no projeto da ETAR bem como dos sistema de esgotos, no entanto as estratégias adoptadas para minimizá-lo apenas têm como principal preocupação o efeito crescente da intensidade das chuvas o que atual foi demonstrado ser insuficiente para avaliar o impacto das alterações climáticas. Pois, a combinação de diversas alterações climáticas, como temperaturas elevadas, aumento da intensidade de precipitação e longos períodos de baixos caudais são provavelmente exacerbados em diversas formas de poluição, tendo impacto na viabilidade dos sistemas hídricos e nos custos de operação. Os autores (Patz et al., 2008), descrevem que devido a alterações climáticas, a região dos grandes lagos nos Estados Unidos, irão provavelmente deparar-se com uma combinação do aumento das descargas de sobrecaudal de esgotos combinados (CSO – Combined Sewer Overflow), devido a chuvas fortes, águas quentes nos lagos e níveis de água reduzidos. Estes três aspectos aumentam o risco de doenças formadas nos meios aquáticos; (Langeveld et al., 2012). Consequentemente, as alterações

climatéricas não são só um desafio aos sistemas de ÁR's urbanas mas também um estímulo para futuros desenvolvimentos nos modelos de processamento de esgotos e modelos de ETAR. Pois a seleção de descrições apropriadas para os modelos ETAR sobre estas condições e a aplicação de uma monitorização contínua nos sistemas de ÁR's irão influenciar na qualidade do efluente, consequentemente no meio de descarga do mesmo; (Langeveld et al., 2012).

Para a reutilização das ÁR's, dependendo do tipo de aplicação, será necessário diferentes qualidades de efluente, sete categorias de aplicações são geralmente definidas, irrigação de espaços decorativos, agricultura, indústria, reposição de água no subsolo, usos de recreio/ambientais, utilizações urbanas não potáveis e reutilização potável. Nas aplicações agrícolas podemos ter culturas alimentares e não alimentares; (Sa-nguanduan and Nitivattananon, 2011). As diferentes qualidades de efluentes de ÁR's, resultam de diferentes tratamentos nas ETAR's, que praticamente todas, dispõem de processos tecnológicos que permitem obter um efluente com uma qualidade de acordo com diretivas europeias como a Directiva 91/271/CEE de 21 Maio 1991, que apresenta valores para a remoção de nutrientes para descargas em zonas sensíveis à eutrofização. Este tipo de tratamento, tratamento secundário, é a base para cerca de 1/3 dos cenários de reutilização de água por aproveitamento das ÁR's e é característico de aplicações restritas de irrigação agrícola (i.e., como para culturas alimentares não consumidas cruas) e algumas aplicações industriais como arrefecimento industrial (à excepção da indústria alimentar; (Bixio et al., 2006). No entanto, para corresponder aos requisitos de uma irrigação sem restrições, um tratamento suplementar será necessário, tratamento terciário (filtração e/ou desinfecção). Estes requisitos são válidos para a agricultura, usos de recreio/ambientais, irrigação de espaços decorativos, bem como processos a água para aplicações industriais.

Na Europa não existem regulamentos de tecnologia base, ou recomendações, como por exemplo, o regulamento Californiano "Title 22" (que impõe coagulação/floculação, sedimentação, filtração e desinfecção do efluente secundário para atingir um limite de 0-CF/ml). Este que tem sido utilizado por todo o mundo, como referência à reutilização de Águas Residuais. Contudo, alguns países da Europa, apresentam legislação ou normas relativas à reutilização de ÁR's, como a Bélgica, França e Itália (Bixio et al., 2006). Portugal, dispõe da NP 4434:2005 (Ed. 1), que estabelece os requisitos de qualidade das águas residuais urbanas tratadas a utilizar como água de rega, define os critérios a seguir na escolha dos processos e equipamento de rega a usar e estabelece os procedimentos a adoptar na execução das regas e na protecção e monitorização ambiental da zona potencialmente afectada por essa rega. Da mesma forma, encontramos o "Guia técnico 14", que resulta de um protocolo entre o Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL) e a Entidade Reguladora de Sistemas de Águas e Resíduos (ERSAR), com o apoio da Universidade da Beira Interior (UBI). Este guia, tem como objectivo contribuir para reforçar o desenvolvimento sustentável da prática da reutilização de águas residuais no nosso país. (Marecos do Monte and Albuquerque, 2010). Apesar de existir a referida norma Portuguesa e o guia técnico 14, entre outros documentos regulamentares, a prática de reutilização de águas residuais, propriamente dita, ainda não é frequente em Portugal.

Independente da aplicação de reutilização, devido à escassez de água, a necessidade de reutilizá-la, é sem dúvida uma realidade atual. Onde os principais factores são a deterioração dos recursos de água disponíveis e o aumento da procura devido ao crescimento populacional. Assim, verifica-se com o aumento destes dois factores, um aumento do potencial de reutilização de ÁR's de diversos países, principalmente os do mediterrâneo; (Hochstrat et al., 2006).

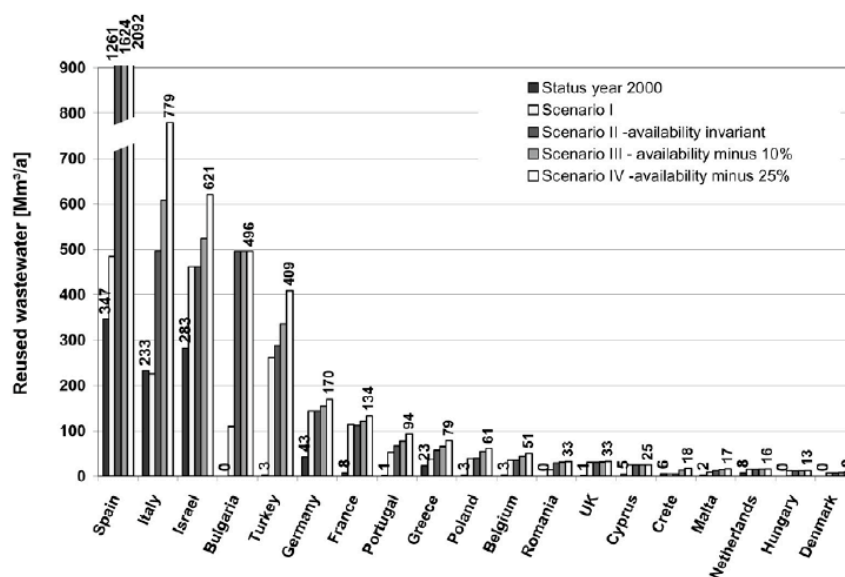


Figura 1.2 – Potencial de reutilização de AR's estimado em diferentes cenários; (Hochstrat et al., 2006)

Podemos verificar na figura 1.2 que Portugal no ano 2000 apresentava um valor de 1 Mm³/a de ÁR reutilizada e que no caso de verificar-se o cenário mais desfavorável, cenário IV, menos 25% de água disponível, o potencial estimado seria de 94. Para o cenário 1, onde a disponibilidade é constante a diretiva para o tratamento de ÁR e qualidade do efluente, é cumprida, a diferença para a reutilização verificada em 2000 é igualmente elevada como para o cenário 4, logo, independentemente o cenário, Portugal, apresenta um elevado potencial de reutilização de ÁR, de acordo com as suas práticas de consumo de água e gestão deste recurso. Qualquer agravamento nas restrições à água poderá consequentemente promover um aumento da sua reutilização, bem como a cobertura de picos de procura sazonal, e.g., para irrigação ou fornecimento público de regiões turísticas. (Hochstrat et al., 2006). É uma característica da área sul do mediterrâneo, que o consumo de água aumenta dramaticamente entre os meses de Maio e Setembro de cada ano. É durante este período que ambos, turismo e agricultura, apresentam a sua necessidade máxima, competindo entre si o recurso escasso da água. A quantidade de chuva durante este período é bastante reduzida e incapaz de desempenhar qualquer papel direto ou importante; (Manios and Tsanis, 2006).

Todavia, os resultados apresentados levantam a questão de como acompanhar a realização desde potencial massivo dum ponto de vista regulamentar e como definir incentivos apropriados e medidas de suporte à sua implementação. Até à data, definiu-se primariamente aspectos relacionados com a prevenção ao risco à saúde humana, deverão ainda ser agora estabelecidos e desenvolvidos limites de certas substâncias ou uma avaliação de risco compreensiva e práticas de gestão do recurso, com vista à continuidade da utilização da água pela sua reutilização; (Hochstrat et al., 2006).

1.2.1. Constrangimentos e Benefícios

A reutilização de ÁR já representa em algumas áreas do mundo um enorme fornecimento de água, estando a crescer a sua importância nos Estados Unidos, Austrália, Europa e outras regiões. O seu potencial é inquestionável, no entanto, devido a algumas barreiras e constrangimentos, incluindo falta de apoios governamentais e a resistência do

público ao planeamento de uma reutilização potável indireta, (Wade Miller, 2006), de acordo com a respectiva aplicação, conforme referido anteriormente. Para além das barreiras referidas, outras necessidades mais específicas, são identificadas, como a necessidade de educar o público, melhorar a avaliação económica da reutilização da água, investigação adicional e liderança dos governos; (Wade Miller, 2006). Apesar de existirem algumas informações dos efeitos da utilização das ÁR's em aplicações como a agricultura, no que diz respeito a efeitos no solo, qualidade e quantidade das ÁR's e a viabilidade económica da aplicação, estes aspectos deverão ser, no entanto aprofundados; (Zema et al., 2012).

Com isto, tanto os profissionais como o público de consumo necessitam de ver a água de forma diferente no próximo século. É imperativo que o público desenvolva uma maior confiança e capacidade de utilizar a água com menor qualidade (contaminada) bem como a água de elevada qualidade; (Wade Miller, 2006)

1.2.2. Efeitos no solo

Para a utilização de ÁR na agricultura determinados aspectos deverão ser tidos em consideração para minimizar impactes ambientais e problemas de saúde. Assim, podemos encontrar linhas orientadoras para esta aplicação das ÁR's que irão permitir que esta prática seja adoptada com completa segurança ambiental e para com a saúde. Existem vários parâmetros importantes de qualidade para o uso das ÁR's na agricultura, podendo estes ser divididos por parâmetros significativos para a saúde e parâmetros significativos para a agricultura; (Pescod, 1992).

No que diz respeito, aos constrangimentos na utilização de ÁR na agricultura relativamente a efeitos no solo, iremos caracterizar os parâmetros significativos para a agricultura; (Pescod, 1992):

1.2.2.1. Concentração total de Sal

A concentração total de sal (para todos os propósitos práticos, Sólidos Dissolvidos Totais, [mg/l]/[ppm]) são um dos parâmetros de qualidade da água mais importantes para a agricultura, isto porque a salinidade da água do solo está relacionada, e normalmente determinada, pela salinidade da água de irrigação. Com isto o crescimento da planta, rendimento da cultura e qualidade do produto são afectados pelos sais totais dissolvidos na água de irrigação. Igualmente, a taxa de acumulação de sais no solo, ou salinização do solo, está também directamente afectada pela salinidade da água de irrigação.

1.2.2.2. Condutividade Eléctrica (*Electrical Conductivity, EC*)

A condutividade eléctrica é geralmente utilizada para indicar os constituintes ionizados da água de irrigação. É directamente relacionada com a soma dos catiões (ou aniões) e correlacionada em geral com a concentração total de sais no solo, que afectam quimicamente e fisicamente as plantas; (Pescod, 1992). A salinidade da água e do solo é caracterizada pela respectiva condutividade eléctrica de ambos, estando estes relacionados pelas práticas de irrigação, permeabilidade do solo e outras propriedades. Encontram-se na tabela os valores para reduções expectáveis do rendimento da cultura de 0, 10, 25 ou 50%, devido aos efeitos do

aumento da salinidade do solo ou da água de irrigação. A conversão da salinidade do solo (EC_e) comparativamente com a salinidade da água (EC_w), assume que esta irá concentrar três vezes e tornar-se água do solo ($EC_w \times 3 = EC_{sw}$) e que a salinidade do solo (EC_e) reportada como o extrato de saturação é metade da salinidade da água do solo ($EC_{sw} \times 0,5 = EC_e$); (Ayers and Westcot, 1976).

Na interpretação da qualidade da água para irrigação, generalizado para qualquer cultura, salinidade na água (EC_w), < 0,75 dS/m não existe qualquer problema, 0,75~3,0 dS/m, rendimento afectado de algumas culturas, para valores > 3,0 dS/m, o problema é severo e o rendimento da maioria das culturas irá ser afectado; (Ayers and Westcot, 1976)

Tabela 1.10 – Tolerância da cultura, decréscimo expectável do rendimento para algumas culturas devido à salinidade da água de irrigação com a utilização de métodos de irrigação comuns; (Ayers and Westcot, 1976)

Cultura	0%		10%		25%		50%		Máx.	
	EC_e	EC_w	EC_e	EC_w	EC_e	EC_w	EC_e	EC_w	EC_e	
Beterraba	7	4,7	8,7	5,8	11	7,5	15	10	27	(Ayers and Westcot, 1976)
Arundo donax L.	2,5	-	5	-	8,5	-	12,5	-	32	(Williams, 2010)

1.2.2.3. Conteúdo Orgânico de Carbono (*Soil Organic Carbon, SOC*)

A matéria orgânica do solo é constituída por todos os componentes derivados dos animais e plantas. O componente simples que normalmente se apresenta em maior quantidade na matéria orgânica do solo é o carbono orgânico, cerca de 58%; (Australian, 2007).

A matéria orgânica no solo é o componente que desempenha um papel importante e critico no que diz respeito aos processos físicos, químicos e biológicos do solo; (Australian, 2007)

- Providência energia para os processos biológicos bem como nutrientes, Azoto (N), Potássio (K) e Enxofre (S);
- Melhora a estabilidade estrutural, influencia a retenção da água e altera as propriedades térmicas do solo.
- Contribui para a capacidade de troca de catiões, potencia a proteção do pH e a de catiões complexos.

O conteúdo orgânico de carbono é relativamente simples de medir. A sua concentração é um bom indicador do estado do solo e a sua quantidade está a emergir como um factor chave para a mitigação dos Gases de Efeito de Estufa (GEE). Por estas razões o Conteúdo Orgânico de Carbono, SOC, é um dos principais indicadores da condição do solo tanto a nível local como internacional. As medidas recomendadas para o SOC são, um valor base expresso como uma percentagem e como densidade [Mg/ha] e a alteração do SOC a longo do tempo; (Australian, 2007).

A utilização de uma metodologia agrícola de plantio direto, sem a remoção dos restos vegetais e ervas que crescem entre a cultura principal, permite aumentar o conteúdo de matéria orgânica no solo e consequentemente o SOC, permitindo dispor de um solo mais rico em nutrientes, obtendo assim, um maior rendimento da cultura principal.

1.2.2.4. Rácio de absorção de Sódio (*Sodium Adsorption Ratio, SAR*)

O Sódio é um catião único devido ao seu efeito no solo. Este, quando presente no solo na fase de mudança de estado, causa alterações físico - químicas adversas no solo, particularmente à estrutura do solo. Tem a habilidade de dispersar o solo, quando presente acima de um determinado valor, relativo à concentração dos sais totais dissolvidos. A dispersão dos solos resulta na redução da taxa de infiltração da água e ar no solo. Quando seco, os solos dispersos formam crostas que são difíceis de lavar e interfere com a germinação e o emergir da planta à superfície. A água de irrigação pode ser uma fonte de sódio em excesso para o solo pelo que deverá ser avaliada; (Pescod, 1992). O índice mais viável para o perigo da presença do sódio na água de irrigação é o rácio de absorção de sódio, (*Sodium Adsorption Ratio SAR*), O SAR é definido pela fórmula:

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}};$$

onde as concentrações iónicas são expressas em [meq/l]; (Pescod, 1992).

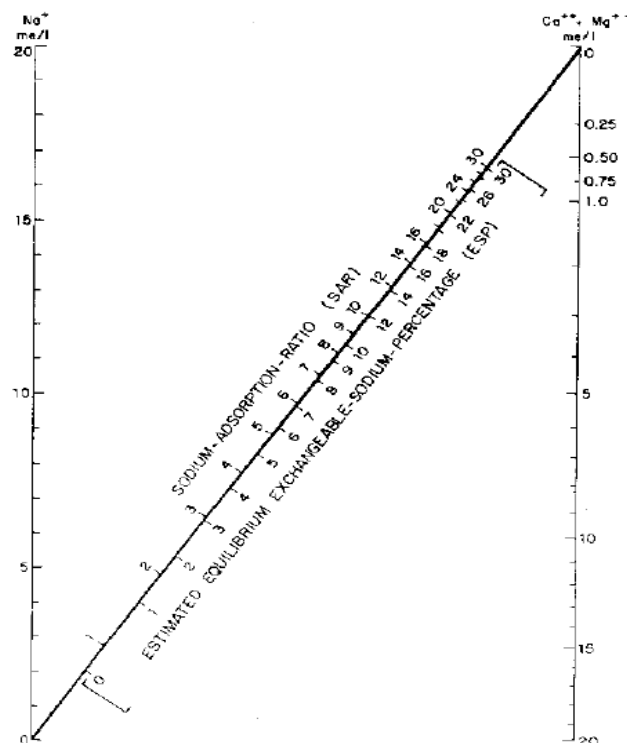


Figura 1.3 – Nomograma para determinar o SAR (US Salinity Laboratory 1954); (Pescod, 1992)

Na figura 1.3 encontramos um nomograma para determinar o valor do SAR para a água de irrigação; (US Salinity, 1954). Uma escala da percentagem de sódio em mudança de estado, (*Exchangeable Sodium Percentage ESP*) é incluída no nomograma para estimar o valor ESP do solo que está em equilíbrio com a água de irrigação para um valor de SAR conhecido. Sob as

condições do local o ESP real poderá encontrar-se um pouco mais elevado que o valor de equilíbrio estimado devido à concentração total de sais na solução do solo que é aumentada pela evapotranspiração e a transpiração da planta, que resulta num SAR elevado e um valor de ESP correspondentemente elevado; (Pescod, 1992).

1.2.2.5. Iões tóxicos

Água de irrigação que contém certos iões em concentrações acima de determinados valores podem causar problemas de toxicidade nas plantas. A toxicidade normalmente resulta na atrofia do crescimento, reduz o rendimento, altera a morfologia da planta e até na sua morte. O grau do dano depende da cultura, da sua etapa de crescimento, da concentração do ião tóxico e das condições do clima e do solo.

Os iões fito tóxicos mais comuns que poderão estar presentes nos esgotos municipais e nos efluentes tratados em concentrações que poderão causar toxicidade são: Boro (B), Cloro (Cl) e Sódio (Na). Será assim necessário determinar a concentração destes iões para avaliar a qualidade da ÁR para uso na agricultura; (Pescod, 1992)

1.2.3. Qualidade e quantidade das ÁR's

Quando a água de qualidade é escassa, deverá ser considerada água de qualidade reduzida para irrigação agrícola. No entanto, não existe uma definição universal para “água de qualidade reduzida”, poderá ser definida termos práticos como, água com determinadas características que tem um potencial de causar problemas quando usada para um determinado propósito. Por exemplo, água salobra, poderá ser considerada água de qualidade reduzida para irrigação de culturas agrícolas, devido ao seu elevado conteúdo de sal dissolvido. No caso das ÁR's são consideradas águas de qualidade reduzida devido aos possíveis perigos que poderão apresentar para a saúde humana. Assim, do ponto de vista da irrigação, o uso de água de qualidade reduzida, requer uma gestão e controlo mais complexo do que quando é utilizada água de boa qualidade; (Pescod, 1992)

Existem estudos limitados sobre o uso de ÁR para a produção de bio líquidos, nomeadamente biodiesel e os efeitos da irrigação com ÁR nas suas propriedades; (Tsoutsos et al., 2013). No Egipto, uma cultura piloto de *Jatropha* mostrou que ÁR's municipais com tratamento primário poderão ser utilizadas na irrigação de culturas energéticas; (El Diwani et al., 2009).

No estudo apresentado, (Tsoutsos et al., 2013), é investigada a extração e transformação do óleo de Girassol e Rícino em Biodiesel obtido de culturas irrigadas com água potável e ÁR's. Adicionalmente foram medidas as características indicativas de cada combustível para verificar o efeito da qualidade da água de irrigação nas propriedades do Biodiesel e no respectivo potencial de produção; (Tsoutsos et al., 2013).

Tabela 1.11 – Valores médios das amostras dos efluentes de água potável e ÁR; (Tsoutsos et al., 2013)

Parâmetro	Água potável (valor médio)	Efluente (valor médio)
pH	7,48	7,59
EC (dS/m)	1,34	2,28
CQO (mg/L)	<5	40
TP* (mg/L)	0,8	2,8
TKN** (mg/L)	-	18,4

* TP (*Total Phosphorus*), Conteúdo total de fósforo;

** TKN (*Total Kjeldahi Nitrogen*), Total de azoto pelo método de *Kjeldahi* que determina quantitativamente o azoto presente numa substância química;

Tabela 1.12 – Rendimento do óleo extraído das sementes; (Tsoutsos et al., 2013)

Cultivo da Semente	Rendimento do óleo (kg/ha)			
	2007	2008	2009	Média
Rícino ÁR	969	1.142	1.147	1.086 ± 101,36
Rícino Água potável	1.225	1.231	1.619	1.325 ± 260,07
Girassol ÁR	961	974	1.191	1.042 ± 129,20
Girassol Água potável	1.036	1.040	1.261	1.112 ± 128,76

Nas tabelas 1.11 e 1.12, podemos observar as propriedades das diferentes águas utilizadas na irrigação e o respectivo rendimento de óleo extraído nas sementes. Como seria expectável, as ÁR's apresentam uma condutividade eléctrica superior à água potável, no entanto as ÁR's dispõem de uma quantidade considerável de azoto o que foi necessário adicionar como fertilizante à água potável para igualar a mesma quantidade. Assim, apesar de o rendimento de óleo extraído ser superior no caso da água potável, a diferença poderá não ser significativa face à necessidade de adicionar fertilizante à água de irrigação. A diferença no rendimento, poderá estar associada à condutividade eléctrica ser superior para as ÁR's, o que indica uma maior salinidade, representando um menor número de sementes produzidas, e o facto dos elevados níveis de fertilização com azoto, como nas águas residuais, tenderem para a redução o conteúdo de óleo nas sementes; (Tsoutsos et al., 2013).

O efeito do método de irrigação no óleo extraído e a avaliação da produção de biodiesel para cada matéria prima, medindo as propriedades de qualidade críticas, foram também avaliadas no estudo; (Tsoutsos et al., 2013)

Tabela 1.13 – Propriedades críticas do combustível; (Tsoutsos et al., 2013)

Propriedade	Limite		Unidade	Método	Castor Potável	Castor Resíduo	Girassol Potável	Girassol Resíduo
	EN 14214	ASTM D6751						
Acidez	Max 0,50		mg KOH/g	EN 14104	0.315	0.315	0.421	0.315
Viscosidade 40°C		1,9-6,0	mm ² /s	ASTM D445	17.23	16.21	4.08	4.34
Densidade 15°C		860-900	kg/m ³	ASTM D4052	924	924	883	882
Conteúdo Éster %	Min 96,5		% (m/m)	EN 14103	*	*	~100	~100
Glicerol livre	Max 0,02		% (m/m)	EN 14105	0.00	0.00	0.00	0.00
Mono-	Max 0,80		% (m/m)	EN 14105	0.09	0.08	0.02	0.08
Di-	Max 0,20		% (m/m)	EN 14105	0.03	0.03	0.00	0.03
Triglicéridos	Max 0,20		% (m/m)	EN 14105	0.00	0.00	0.00	0.00

No que diz respeito á acidez e viscosidade do óleo Biodiesel, os factores críticos para a síntese de Biodiesel, foram influenciados pela variação da qualidade da água, nas condições experimentais, e verifica-se uma melhoria (diminuição), quando são utilizadas ÁR's para a irrigação. Especialmente a redução significativa da acidez do óleo, simplifica o processo de Biodiesel e fornece um rendimento de reação melhorado, caso seja usado um catalisador alcalino. A irrigação com ÁR não teve nenhum impacto na qualidade do Biodiesel produzido. Pelo contrário, o uso de ÁR para a irrigação de culturas energéticas, irá reduzir a pressão exercida sobre os recursos de água locais disponíveis em várias áreas; (Tsoutsos et al., 2013).

Relativamente à quantidade de efluente de ÁR's a expansão das populações urbanas e o aumento do fornecimento de água e esgotos irá dar lugar a maiores quantidades de ÁR's municipais. Com a preocupação atual nas questões ambientais e poluição dos recursos hídricos, existe a necessidade crescente de manusear de forma segura e benéfica estas ÁR's, onde o seu uso na agricultura poderá ser uma consideração importante, uma vez que, nos países áridos e semiáridos já é uma prática corrente com sucesso. No entanto, deverá ter-se em conta que a quantidade de ÁR disponível na maioria dos países é apenas uma pequena fracção dos requisitos de água totais necessários à irrigação. O uso das ÁR's irá resultar na conservação da água potável e na sua utilização noutras aplicações que não a irrigação. O custo do fornecimento de água potável encontra-se normalmente relacionado com a quantidade disponível, sendo mais elevado em áreas em que a disponibilidade do recurso é limitada. Assim, faz todo o sentido incorporar a reutilização da água na agricultura bem como noutras aplicações; (Pescod, 1992)

A utilização das ÁR's na irrigação de culturas irá minimizar o stress hídrico resultante da devolução dos efluentes ao meio hídrico, um outro papel importante, conforme referido anteriormente. No caso de recolha e tratamento centralizado de grandes centros urbanos, poderá verificar-se elevadas quantidades de efluente e consequentemente de azoto, uma vez que as ETAR's poderão encontrar-se em localizações de descarga sensíveis ao azoto, assim, a reutilização do efluente poderá representar uma solução adequada, pois o azoto será aproveitado para o enriquecimento do solo e não será libertado para o meio hídrico sensível. No entanto, a quantidade do efluente disponível para a irrigação irá ser um factor determinante, pois a recolha e tratamento em pequenas ETAR's são novamente alvo de interesse por organizações, devido aos seus custos de instalações, sistemas de recolha e automatismo de operacionalidade, estas com menor quantidade de efluente; (Weirich et al., 2011).

A capacidade da ETAR irá determinar o efluente máximo disponível para a irrigação, mas o tamanho da mesma poderá influenciar a qualidade do efluente. Existem questões regulamentares, que representam um desincentivo à expansão ou melhoria de uma pequena ETAR, que por vezes resulta num tratamento mais descuidado e menos controlado, libertando assim um efluente de qualidade reduzida; (Weirich et al., 2011).

Tabela 1.14 – Sumarização da previsão do sistema linear generalizado das taxas de incumprimento, baseadas num escoamento mensal com uma taxa de utilização fixa de 0,69.; (Weirich et al., 2011)

	CBO	SST	NH ₄	CF (Coliformes Fecais)
Taxa de incumprimento (40 m ³ /d)	13,0%	15,0%	22,0%	3,5%
Taxa de incumprimento (4000 m ³ /d)	3,4%	3,3%	3,0%	1,3%
Taxa de incumprimento (400000 m ³ /d)	0,8%	0,7%	0,3%	0,5%

Através de uma avaliação estatística das descargas mensais de centenas de ETAR, foi possível verificar que existe um aumento significativo da frequência de incumprimentos nos valores permitidos para os efluentes do CBO, SST, Amónia e Coliformes Fecais, à medida que a capacidade da ETAR é menor. Instalações maiores que 40000 m³/d preveem níveis dos constituintes do efluente que estão mais próximos dos valores permitidos mas taxas de incumprimento reduzidas, sugerindo que ETAR's de maior capacidade poderão operar mais eficientemente que as de menor capacidade por não operar de forma excessiva. Para instalações inferiores a 4000 m³/d, exceder a capacidade hidráulica da ETAR é um factor significativo para diminuir a fiabilidade do tratamento. Assim, no caso de se optar por uma rede descentralizada de pequenas ETAR's para o tratamento de AR's, deverá considerar-se a sugestão do presente estudo da possibilidade do aumento do risco para as águas de superfície e saúde pública devido a múltiplas pequenas ETAR's; (Weirich et al., 2011).

A presença de bactérias e genes resistentes aos antibióticos (*antibiotic-resistant bacteria*, ARB e *antibiotic-resistant genes*, ARG's) é outra característica importante a avaliar da qualidade do efluente, a necessidade de disseminação das ARB e ARG's da irrigação de ÁR's para o solo e meio hídrico é de preocupação pública porque poderá contribuir para um aumento global da resistência aos antibióticos (*antibiotic resistance*, AR); (Gatica and Cytryn, 2013).

Conforme referido a irrigação de culturas agrícolas com ÁR's encontra-se também associada a severos factores de risco não biológicos; provavelmente o mais significativo é a contaminação de metais pesados. Neste contexto, diferentes estudos demonstraram acumulação de metais pesados como o Cádmio (Cd), Níquel (Ni), Crómio (Cr), Chumbo (Pb), e outros elementos em solos e plantas sobre regimes de irrigação com AR's; (Bahmanyar, 2008; Gupta et al., 2010; Khan et al., 2008; Mapanda et al., 2005; Song et al., 2006; Wang et al., 2003). De acordo com (Gupta et al., 2010), entre os metais pesados referidos, Cd e Cr são a maior preocupação devido às elevadas taxas de absorção nas plantas e a sua acumulação nos tecidos vegetais dos constituintes da planta, implicando um perigo para a saúde associado ao consumo destas plantas contaminadas com metais pesados por longos períodos de tempo; (Gatica and Cytryn, 2013)

Tabela 1.15 – Factor de transferência para metais pesados, do solo contaminado para o corpo da planta; (Gupta et al., 2010)

Planta	Fe	Pb	Cd	Cr	Mn
Ínhame dos Açores, <i>Colocasia esculenta</i> (raíz)	0,04	0,03	1,17	1,38	0,77
Ínhame dos Açores, <i>Colocasia esculenta</i> (rebento)	0,04	0,03	1,05	0,5	0,63
Mostarda-Preta, <i>Brassica nigra</i> (rebento)	0,04	0,03	1,08	0,07	1,01
Rabanete, <i>Raphanus sativus</i> (raíz)	0,06	0,02	1,08	1,49	1,44
Rabanete, <i>Raphanus sativus</i> (rebento)	0,04	0,02	0,85	0,02	0,95

Um elevado espectro de poluentes orgânicos persistentes (*Persistent Organic Pollutants, POP's*) foram detectados nos solos irrigados com ÁR's tratadas, incluindo os Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (*Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAH's*), Bifenilos Policlorados (*polychlorinated biphenyls, PCB*) e pesticidas Organocloradas (*Organochlorine pesticides*); (Chen et al., 2011; Chen et al., 2005; Pedersen et al., 2003; Sun et al., 2009). Adicionalmente, existe uma preocupação crescente relativamente à presença de contaminantes emergentes que incluem químicos de disrupção endócrina e produtos farmacêuticos e de higiene pessoal (*Pharmaceutical and Personal Care Products, PPCP's*), uma coleção diversa de milhares de substâncias químicas que incluem drogas terapêuticas, veterinárias, fragrâncias e cosméticos. Diversos estudos terão sugerido que o comportamento e possível acumulação dos PPCP's em ambiente natural poderá ter um potencial impacto em ambos, no solo e na saúde humana; (Chen et al., 2011; Walker et al., 2012; Xu et al., 2009). No entanto, mais significativa que a toxicidade direta dos PPCP's, são os efeitos biológicos potenciais que estes compostos poderão ter a jusante no ecossistema. Talvez, o efeito mais crucial é o aumento da resistência antibiótica (AR) nos microbiomas ambientais. Assim, conforme indicado, os efluentes de ÁR's tratados poderão conter componentes antibióticos e metabólicos, bem como, ARG's e ARB, que irão potenciar a AR no microbioma do solo; (Gatica and Cytryn, 2013).

Com base no referido anteriormente, a irrigação de culturas alimentares com ÁR's, poderá introduzir contaminantes tóxicos e perigosos para a saúde humana e animal. Ao utilizar as ÁR's em culturas não alimentares o problema poderá não verificar-se, tornando-se assim numa solução para solos contaminados, extraindo e acumulando metais pesados bem como todos os outros contaminantes referidos. O uso de terrenos agrícolas para produzir culturas não alimentares causa normalmente resistência social, no entanto, existem algumas áreas, por vezes chamadas de áreas cinzentas, que sofrem de contaminação industrial, onde a agricultura não é viável devido ao elevado nível de contaminantes. Algumas plantas são capazes de crescer em ambientes poluídos com metais pesados (Máthéné Gáspár and Anton, 2004; Murányi and Kődöböcz, 2008) e não acumulam metais pesados em valores tóxicos para os humanos; (Mlinarics et al., 2009). (Murillo et al., 1999) apresentou que o Sorgo e o Girassol podem absorver facilmente e alocar os metais pesados para a folhagem. No entanto, a fitotoxicidade limita a acumulação nas plantas a níveis de segurança para os humanos e animais. Por outro lado, várias plantas, como a lavanda, contém muitos componentes diferentes, que poderão ser utilizados para diversos fins industriais, como isolamento de agentes antimicrobianos. A esta tecnologia é dada o nome de Biorefinaria, onde a biomassa pode ser convertida em materiais

com diversas aplicações (e.g. combustíveis, solventes, plásticos, materiais cosméticos e farmacêuticos ou como vectores energéticos) (Mlinarics et al., 2009).

Tabela 1.16 – Conteúdo de óleos voláteis e Metais Pesados no extracto alcoólico do Bálsamo e da Lavanda produzidos em solos com diferentes tratamentos; (Mlinarics et al., 2009).

Óleos Voláteis no Bálsamo e na Lavanda										Conteúdo de Metais Pesados no extrato da planta			
		chamfor	p-cimeno	borneol	eucaliptol	cisze-citral	γ-terpineno	carvacrol					
Plantas	Trat. por composto	Rt=21,885	Rt=19,342	Rt=22,042	Rt=19,513	Rt=22,977	Rt=19,826	Rt=23,66	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni
Bálsamo	30 t/ha		+		+	+		+	0,00	7,84	7,84	0,00	0,00
Bálsamo	50 t/ha		+		+		+		0,00	0,00	0,00	7,92	0,00
Lavanda	30 t/ha								0,00	1,98	1,98	0,00	0,00
Lavanda	50 t/ha	+	+	+	+				0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Os resultados do artigo (Mlinarics et al., 2009), sugerem que as plantas cultivadas em áreas contaminadas pela indústria com metais pesados podem servir como fontes valiosas de materiais base para biorefinaria. Como um próximo passo, será necessário desenvolver um processo de purificação complexo para os componentes ativos, considerando a presença de metais pesados.

1.3. Viabilidade económica da irrigação de culturas energéticas com AR's

Quando é usado um sistema solo – planta para bio remediação, os custos para o tratamento de ÁR's irá ser reduzido uma vez que os processos tradicionais para a remoção de Azoto (N) e Fósforo (P) não serão necessários; (Rosenqvist and Dawson, 2005).

A possibilidade de reduzir os custos para o tratamento convencional do N e P, aproximadamente 8 – 21€ (kg/N) é de longe o factor económico mais importante quando se considera a irrigação com ÁR's de culturas energéticas como o Salgueiro, como técnica alternativa de tratamento; (Rosenqvist and Dawson, 2005). O aumento da produção de biomassa e a redução dos custos para o produtor (correspondendo a 13€ (kg/N)) tem um impacto limitado no resultado económico; (Rosenqvist and Dawson, 2005). No entanto, o aumento da produção de biomassa, provavelmente, permite um aumento da aplicação do N de forma segura sem riscos de “fuga” de N. Um aumento na taxa de aplicação de ÁR irá reduzir o custo por kg de N tratado, se o mesmo equipamento puder ser usado. No entanto a distribuição e armazenamento de grandes volumes de ÁR irá provavelmente envolver maiores custos para a capacidade das bombas e depósitos. Será, igualmente, provável que duplicar ou até maiores doses de ÁR leve a “fuga” de N. As elevadas doses poderão levar à saturação da água no solo e, consequentemente, falta de oxigénio na zona da raiz, que irá danificar as plantas e reduzir a produção biomassa. No entanto, num clima mais seco e quente, como no sul da Europa, a aplicação de ÁR's acima dos 600mm/a será bastante provável, sem que exista risco de “fuga” de N; (Rosenqvist and Dawson, 2005).

Tabela 1.17 – Redução de custos em €.ha/a e em €.kg/N, respectivamente quando é usada ÁR no lugar de fertilizantes comerciais sólidos; (Rosenqvist and Dawson, 2005)

Redução de Custos	€ (ha/a)	€ (kg/N)
Para fertilizante N	53,50	0,52
Para fertilizante P	10,54	0,10
Para fertilizante K	10,31	0,10
Para espalhar N	25,09	0,24
Para espalhar P e K	2,06	0,02
Aumento da produção* (2 t/ha)	48,81	0,47
Total	150,31	1,46

* O valor para o aumento da produção tem em consideração os custos de cultivo.

A conclusão geral é que um sistema de tratamento de ÁR's usa Salgueiros ou outra cultura energética adaptável às condições do efluente, como recipientes, a combinação de tratamento e produção de biomassa para propósitos energéticos, pode ser uma alternativa realística para pequenas e médias ETAR's, comparando com as técnicas dos sistemas convencionais; (Rosenqvist and Dawson, 2005). No caso de ser aceitável a descarga de efluente rico em N durante a época de inverno, após o tratamento convencional de P, mas em retorno reduzir efetivamente a descarga de N no verão pela acumulação na planta por sistema solo – planta, então os benefícios poderão ser substanciais, a sua magnitude, no entanto irá depender das condições locais. Mesmo um sistema de tratamento que inclua o armazenamento da ÁR durante o inverno para distribuição nos sistemas solo – planta durante o verão, poderá ser uma alternativa económica e realística em relação ao tratamento convencional de N e P; (Rosenqvist and Dawson, 2005).

2. Metodologia

A área de 3ha (2,88ha) considerada como mínima para a aplicação de um sistema de irrigação (SI) com AR's foi calculada através da relação entre o custo de manutenção do SI, 1.658,40€, pela rentabilidade do Salgueiro de 575,58€/ha, considerado no respectivo estudo, (Rosenqvist and Dawson, 2005). Este calculo carece de análise ao respectivo “payback” da instalação, uma vez que o calculo é efectuado para encontrar a área à qual a rentabilidade da CE é igualada aos custos de manutenção. Ainda, a área poderá ser ligeiramente diferente para outras CE's, uma vez que estas poderão apresentar rendimentos diferentes.

Tabela 2.1 – Custos de Implementação e manutenção de um sistema de irrigação com ÁR's, (Rosenqvist and Dawson, 2005), e cálculo da área mínima viável de aplicação;

Sistema de Irrigação	
Manutenção [€/a] ^(a)	1.658,40 €
Investimento [€]	76.740,00 €
Salgueiro [€/ha.a-1] ^(b)	575,58 €
Área Mínima [ha]*	2,88

* Valor obtido através da relação de (a) com (b).

De forma análoga à anterior, foi possível determinar uma distância de 4km (3,82km) entre o terreno e a ETAR, acima da qual a produtividade obtida não será suficiente para cobrir os custos de manutenção. Este calculo, à semelhança do anterior, é efectuado com base nos valores para a respectiva CE e distância considerados no estudo; (Rosenqvist and Dawson, 2005).

Tabela 2.2 – Custos de Implementação e manutenção de um sistema de irrigação com ÁR's, (Rosenqvist and Dawson, 2005), e cálculo da distância máxima viável de aplicação;

Distância à ETAR	
Manutenção [€/km.a-1] ^(a)	1.507,64 €
Investimento [€]	76.740,00 €
Salgueiro [€/a] ^(b)	5.755,76 €
Distância Máx. [km]	3,82

* Valor obtido através da relação de (a) com (b).

2.1. Seleção da ETAR(s) para avaliação do potencial

Os critérios base para a seleção da(s) ETAR(s) como referência à avaliação do potencial de irrigação, foram o volume anual de efluente tratado pela(s) ETAR(s), considerando que este seria igual ao afluente recebido, (INSAAR, 2008), e a superfície das terras aráveis (ha) das explorações agrícolas por localização geográfica NUTS (*Nomenclature of Units for Territorial Statistics*) 2002, (INE, 2011b). Foi elaborada uma listagem de 10 concelhos que apresentassem o maior valor total para ambos os critérios considerados;

Tabela 2.3 – Concelhos com o maior volume de efluente [m3] e área total arável [ha]; (INE, 2011b; INSAAR, 2008)

Concelho	Volume Anual de efluente [m3]	Área Total Arável [ha]
Lisboa	35.479.848	78.082
Coimbra	11.603.082	53.824
Braga	10.001.466	39.228
Évora	4.609.201	126.996
Sintra	3.314.330	43.128
Castelo Branco	2.924.683	152.867
Figueira da Foz	2.683.172	70.616
Vila Franca de Xira	2.394.369	59.406
Covilhã	2.032.192	104.434
Santarém	1.957.584	73.716

Selecionando apenas a ETAR com maior efluente de cada concelho permitiu-nos reduzir a listagem, pois cada um destes concelhos apresentava variadas ETARs, algumas, sem representação significativa. A quantidade de efluente segundo (Weirich et al., 2011) irá influenciar, com maior incidência em ETAR's com caudais menores, o incumprimento de alguns parâmetros. Assim, não só seria importante selecionar um caudal suficiente para as necessidades hídricas das culturas, mas também as que apresentassem o maior volume de efluente anual.

Com as ETAR's selecionadas, era agora importante verificar quais apresentavam maior área arável numa proximidade de 4km. Utilizando aplicações de Sistemas de Informação Geográfica, SIG, como o *Google Earth* e ferramentas web “*freeware*”, foi possível obter as respectivas áreas desenhando polígonos sobre os terrenos aráveis. Ainda, por observação, diferenciou-se a tipologia do terreno em acidentado e plano;

Tabela 2.4 – ETAR's referentes aos 10 concelhos selecionados com maior volume de efluente e área arável por tipologia do terreno;

Tipologia do terreno	Acidentado	Plano	Polígono [Nº]	Área Total [ha]	Volume Anual de efluente [m3]
Designação da ETAR	Área [ha]				
ALCÂNTARA	359,98	0,00	5	359,98	35.479.848
CASTELO BRANCO (SUL)	217,61	304,62	6	522,23	2.924.683
FIGUEIRA DA FOZ	1090,11	351,58	9	1441,69	2.683.172
VILA FRANCA DE XIRA	122,04	366,11	6	488,15	2.394.369
SANTARÉM	26,81	508,93	9	535,74	1.957.584
CHOUPAL	542,89	596,96	13	1139,86	11.603.082
ÉVORA	0,00	714,44	5	714,44	4.609.201
RIBEIRA DE COLARES (SISTEMA 2) (ETAR06)	835,67	1050,20	14	1885,86	3.314.330
GRANDE COVILHÃ	0,00	1687,63	13	1687,63	2.032.192
CIDADE	1008,14	1738,46	14	2746,60	10.001.466

Considerando os dados obtidos, representados na tabela 2.4, foi possível reduzir a seleção apenas a três ETAR's, Figueira da Foz, Santarém e Évora, através da área arável e também do menor número de polígonos desenhados. Estes, apresentam-se como indicadores de densidade urbana da envolvente da ETAR, que obriga à dispersão do terreno arável por diversos "lotes", o que, na implementação do SI, poderá representar uma maior complexidade da rede. Sendo com esta, necessário um maior número de colectores, curvas e outros equipamentos e acessórios, introduzindo assim, maiores perdas ao sistema, resultando na aplicação bombas de maior capacidade, consequentemente aumentando o custo de implementação e manutenção do SI.

Outro aspecto que levou a seleccionar as três ETAR's referidas foi a distribuição geográfica destas ser distinta, permitindo avaliar o potencial de irrigação sobre diferentes características edafoclimáticas.

2.2. Qualidade dos efluentes

A qualidade de serviço das ETAR's resulta na qualidade do efluente, esta é avaliada pela percentagem de cumprimento dos parâmetros legais de descarga de águas residuais. O indicador é definido como a percentagem do equivalente de população que é servido com as estações de tratamento que asseguram o cumprimento da licença de descarga, este conceito aplica-se às entidades gestoras de sistemas em alta e em baixa. Os valores de referência para sistemas em alta e em baixa são: qualidade de serviço boa [100], qualidade de serviço mediana [95; 100] e qualidade de serviço insatisfatória [0; 95], de acordo com a legislação em vigor; (ERSAR, 2010; ERSAR, 2012)

2.3. Necessidades hídricas

As necessidades hídricas dependem principalmente do clima, da cultura e da etapa de desenvolvimento da mesma. Para o cálculo, utilizou-se a evapotranspiração referência dos diferentes locais, pelo método de *Penman-Monteith*, ET_0 ; (IM, 2012), e o factor cultural de cada CE, k_c para diferentes etapas de desenvolvimento; (Brouwer and Heibloem, 1986; Costello et al., 2000). Ainda, através da aplicação CROPWATER 8.0, que permite calcular as necessidade hídricas de culturas, (Allen et al., 1998) e com o apoio do CLIMWAT 2.0, de obter dados climatológicos, (Muñoz and Grieser, 2006), ambos da FAO, foi possível comparar os valores calculados dos obtidos para a Evapotranspiração cultural, ET_{crop} ;

Tabela 2.5 – Evapotranspiração de referência pelo método de *Penman-Monteith*, ET_0 e factor cultural de cada CE, k_c ; (Brouwer and Heibloem, 1986; Costello et al., 2000; IM, 2012)

1 ^a dec. Julho			k_c [mm]				ETCrop [l/s.ha]	ETCrop [l/s.ha]	CLIMWAT Station FAO
Local	ET0 [mm/d]	CE's	Fase Inicial	Desenvol.	Meia Etapa	Etapa final	Mid-season stage	CROPWATER FAO [Jul]	
Figueira da Foz	5,00	<i>Beta vulgaris</i>	0,45	0,8	1,15	0,8	0,67	0,44	AVEIRO
	5,00	<i>Arundo donax</i>	0,4	-	0,6	-	0,35	-	-
	5,00	<i>Miscanthus</i>	0,7	-	0,9	-	0,52	-	-
Santarém	6,50	<i>Beta vulgaris</i>	0,45	0,8	1,15	0,8	0,87	-	-
	6,50	<i>Arundo donax</i>	0,4	-	0,6	-	0,45	0,48	PORTALEGRE
	6,50	<i>Miscanthus</i>	0,7	-	0,9	-	0,68	-	-
Évora	8,00	<i>Beta vulgaris</i>	0,45	0,8	1,15	0,8	1,06	-	-
	8,00	<i>Arundo donax</i>	0,4	-	0,6	-	0,56	-	-
	8,00	<i>Miscanthus</i>	0,7	-	0,9	-	0,83	0,81	EVORA

Os dados introduzidos no CROPWATER 8.0, relativos às diferentes culturas, tiveram como base, os disponíveis na mesma. É selecionado o mês de Julho para Evapotranspiração de referência ET_0 , (IM, 2012), e Evapotranspiração cultural, ET_{crop} , uma vez que é neste, verificado os maiores valores. Da mesma forma, que para efeitos de calculo da Evapotranspiração cultural, ET_{crop} , pelo método analítico, $[ET_0 \times k_c = ET_{crop}]$ é apenas considerada a etapa de desenvolvimento “Mid-season stage”, por representar a etapa com maior evapotranspiração.

2.4. Caracterização dos Solos

A avaliação e caracterização dos solos foi obtida através da base de dados Mundial de Solos Harmonizada, (*Harmonized World Soil Database, HWSD*), onde se encontra inserida carta dos solos Portuguesa. Os atributos da HWSD disponibiliza informação da composição dos solos em 15773 unidades de mapeamento. A base de dados mostra a composição de cada unidade em parâmetros normalizados para os solos de superfície e do subsolo, *top* e *Subsoil*. O mapeamento do solo pode ter combinações até 9 solos diferentes; (Nachtergaele and Batjes, 2012). Considerando os polígonos definidos na proximidade das ETAR's selecionadas, para a avaliação do terreno arável plano, definiu-se três pontos geográficos para cada local, obtendo assim, de acordo com a HWSD, a classificação dos respectivos solos e sua caracterização. Para tal, recorreu-se ao *HWSD viewer*, aplicação que permite, através do posicionamento geográfico obter o tipo de solo e suas características; (Nachtergaele and Batjes, 2012).

Tabela 2.6 – Caracterização dos solos, próximos das ETAR's selecionadas, segundo HWSO; (Nachtergaele and Batjes, 2012)

ID	Lon. [W]	Lat. [N]	Unidade Solo [FAO 85]	Superfície					Subsolo				
				SOC [%Peso]	pH [H ₂ O]	CaCO ₃ [%Peso]	ESP [%]	ECe [dS/m]	SOC [%Peso]	pH [H ₂ O]	CaCO ₃ [%Peso]	ESP [%]	ECe [dS/m]
ÉVORA	-7,92	38,53											
Amostra 1	-7,92	38,50	<i>Vertic Luvisols</i>	0.48	7.2	0.3	1,00	0.1	0.38	7.4	6,00	4,00	0.1
Amostra 2	-7,96	38,54	<i>Eutric Cambisol</i>	0.7	6.9	0.1	2,00	0.1	0.4	7.3	0.1	2,00	0.1
Amostra 3	-7,88	38,53	<i>Vertic Luvisols</i>	0.48	7.2	0.3	1,00	0.1	0.38	7.4	6,00	4,00	0.1
SANTARÉM	-8,69	39,21											
Amostra 1	-8,66	39,21	<i>Eutric Fluvisols</i>	0.86	7.2	0.5	2,00	0.1	0.38	7.5	2.5	3,00	0.1
Amostra 2	-8,71	39,20	<i>Eutric Fluvisols</i>	0.86	7.2	0.5	2,00	0.1	0.38	7.5	2.5	3,00	0.1
Amostra 3	-8,71	39,22	<i>Calcic Cambisol</i>	0.65	8,00	7,00	1,00	0.4	0.43	8.1	8.7	1,00	0.3
FIGUEIRA F.	-8,81	40,14											
Amostra 1	-8,82	40,13	<i>Gleyic Solonchak</i>	0.53	8.8	9,00	45,00	12.7	0.38	8.8	9,00	42,00	21.5
Amostra 2	-8,81	40,11	<i>Eutric Cambisol</i>	0.7	6.9	0.1	2,00	0.1	0.4	7.3	0.1	2,00	0.1
Amostra 3	-8,79	40,12	<i>Eutric Fluvisols</i>	0.86	7.2	0.5	2,00	0.1	0.38	7.5	2.5	3,00	0.1

As unidades de solo apresentadas correspondem não à composição total do solo, para cada respectivo local, Évora, Santarém e Figueira F., mas à maior fracção presente. Respectivamente, 45% Amostra 1 e 3, 60% Amostra 2, em Évora; 60% Amostra 1,2 e 3 em Santarém; e 80% Amostra 1, 70% Amostra 2 e 60% Amostra 3, em Figueira F. Isto, porque alguns, apresentam mais do que um tipo de solo, tanto para a superfície como para o subsolo.

2.5. Análise socioeconómica do custo-benefício

Concluída a análise das características do Solo, das ÁR's e das CE's, foi possível efetuar uma análise de custo-benefício com base nos impactes ambientais, económicos e na saúde humana; (Kanyoka and Eshtawi, 2012). Através de uma diretriz analítica podemos verificar a viabilidade de efetuar ou incluir as ÁR's na irrigação das culturas energéticas propostas, nos respectivos locais indicados e verificar as possíveis trocas envolvidas na reutilização da ÁR's na agricultura; (Kanyoka and Eshtawi, 2012).

Por falta de recursos e dificuldades em encontrar a informação exata, para cada variável proposta, foi adaptada à informação disponível, resultando nas seguintes considerações:

2.5.1. Benefício Líquido resultante da produtividade da CE, BL

Para a função da Produção da cultura, intitulada no cálculo efectuado por Benefício Líquido resultante da produtividade da CE, BL, foram considerados como custos os fertilizantes, $PF*QF$, e a mão-de-obra, $QL*PL$, (FAO, 2009; Heaton et al., 2004; Williams, 2010), para as ÁR's, $QAR*PAR$, considerou-se custo zero, uma vez que atualmente não se encontrar qualquer custo previsto para as ÁR's, sendo um reaproveitamento do efluente descarregado. Estes custos foram então subtraídos ao valor da produtividade total, (Angelini et al., 2009; Panella, 2010), considerando um aumento desta relacionado com a irrigação de ÁR's, proposto por, (Rosenqvist and Dawson, 2005);

Tabela 2.7 – Função da Produção da Cultura, valores anuais; (Angelini et al., 2009; FAO, 2009; Heaton et al., 2004; Kanyoka and Eshtawi, 2012; Panella, 2010; Rosenqvist and Dawson, 2005; Williams, 2010)

CE	FIGUEIRA			EVORA			SANTAREM		
	<i>Beta vulgaris</i>	<i>Arundo donax</i>	<i>Miscanthus</i>	<i>Beta vulgaris</i>	<i>Arundo donax</i>	<i>Miscanthus</i>	<i>Beta vulgaris</i>	<i>Arundo donax</i>	<i>Miscanthus</i>
BL [K€]	466,65	318,41	139,6	501,02	341,93	149,88	261,89	178,2	78,31
CP [K€]	5,83	3,55	7,49	6,26	3,73	8,04	3,28	2,48	4,23
PT [K€]	472,48	321,96	147,09	507,28	345,66	157,91	265,17	180,68	82,54
PP [€/Mg]	33,63	33,73	29,89	33,63	33,73	29,89	33,63	33,73	29,89
Q [Mg]	14049,28	9545,07	4920,90	15084,16	10247,76	5283,16	7884,8	5356,72	2761,46
Área [ha]	125,44	240,43	160,29	134,68	258,13	172,09	70,4	134,93	89,95
Rend.Tot.[Mg/ha]	112	39,7	30,7	112	39,7	30,7	112	39,7	30,7
Rend. [Mg/ha]	110	37,7	28,7	110	37,7	28,7	110	37,7	28,7
Aum.Rend.[Mg/ha] ¹	2	2	2	2	2	2	2	2	2
PF [€/ha.a]	46,33	10,12	46,33	46,33	10,12	46,33	46,33	10,12	46,33
QF [ha/a]	125,44	240,43	160,29	134,68	258,13	172,09	70,4	134,93	89,95
PL [€/ha.a]	18,7	1114	62,77	18,7	1114	62,77	18,7	1114	62,77
QL [ha/a]	125,44		160,29	134,68		172,09	70,4		89,95
PAR [€/m3.a]	0	0	0	0	0	0	0	0	0
QAR [m3/a]	0	0	0	0	0	0	0	0	0

BL – Benefício Líquido da produção da CE, [€];

PT – Preço Total, [€];

PP – Preço comercial do produto, [€/Mg];

Q – Quantidade de CE produzida, [Mg];

¹ – Aumento de rendimento provocado pela irrigação das CE's com ÁR;

PF – Preço do fertilizante, [€/ha];

QF – Quantidade do fertilizante utilizada, como o preço é apresentado por hectare, a quantidade é considerada como a área de cultivo respectiva, [ha];

PL – Preço da mão-de-obra, [€/ha];

QL – Quantidade de mão-de-obra utilizada, como o preço é apresentado por hectare, a quantidade é considerada como a área de cultivo respectiva, [ha];

2.5.2. Benefício da função de recarga do aquífero, BFRA

O Benefício da função de recarga do aquífero, BFRA, foi calculado considerando os dados relativos às necessidades hídricas obtidos através da aplicação CROPWATER 8.0, para os valores da evapotranspiração cultural, *ETCrop*, requisito de irrigação, *IR*, e chuva efetiva, *ER*. Esta aplicação permite-nos obter um perfil anual de irrigação e alternativamente às necessidades hídricas calculadas para as CE's, que consideravam o pior mês do ano, Julho. Aqui, permite-nos ter a necessidade anual com aspectos como a chuva disponível em determinados meses do ano para as localizações próximas consideradas, (Muñoz and Grieser, 2006). Com os dados obtidos foi assim possível determinar a quantidade de água lixiviada, *AL*, (Savva and Frenken, 2002), permitindo calcular o *BFRA*, considerando a tarifa não doméstica praticada pelas entidades gestoras, Águas de Santarém, Águas da Figueira e Águas do Centro Alentejo, conforme equação proposta, (Kanyoka and Eshtawi, 2012);

Tabela 2.8 – Benefício da função de recarga do aquífero, valores anuais; (Kanyoka and Eshtawi, 2012; Muñoz and Grieser, 2006; Savva and Frenken, 2002).

CE	FIGUEIRA			EVORA			SANTAREM		
	<i>Beta vulgaris</i>	<i>Arundo donax</i>	<i>Miscanthus</i>	<i>Beta vulgaris</i>	<i>Arundo donax</i>	<i>Miscanthus</i>	<i>Beta vulgaris</i>	<i>Arundo donax</i>	<i>Miscanthus</i>
BFRA [M€]	339,5	896,7	461,1	85,7	236,4	99,7	112,8	311,3	141,7
AL [TL]	14,8	39,1	20,1	6,6	18,1	7,6	6,0	16,5	7,5
ETCrop [ML/ha]	323,7	161,3	258,2	595,9	344,1	497,7	538,6	299,6	444,2
ER [ML/ha]	276,0	276,0	276,0	200,9	200,9	200,9	270,1	270,1	270,1
IR [ML/ha]	165,6	47,8	107,5	443,6	213,2	341,1	353,5	151,8	257,7
Área [ha]	125,44	240,43	160,29	134,68	258,13	172,09	70,40	134,93	89,95
PAP [€/m3]	22,95	22,95	22,95	13,08	13,08	13,08	18,85	18,85	18,85

BFRA – Benefício da função de recarga do aquífero, [M€];

AL – Água lixiviada para o aquífero, [TL];

ETCrop – Evapotranspiração cultural, [ML/ha];

ER – Chuva efectiva, [ML/ha];

IR – Requisito de Irrigação, [ML/ha];

PAP – Preço água potável, [€/m3];

2.5.3. Custo da reclamação do solo, CRS

Para o cálculo dos Custo da reclamação do solo, CRS, relacionado com a degradação do mesmo devido à irrigação com ÁR's, e em geral, à utilização de fertilizantes para práticas agrícolas, considerou-se que o custo envolvido seria igual ao valor respectivo da redução anual de produtividade por efeitos da degradação do solo, Yr. Para tal, considerou-se uma redução de rendimento na produtividade de 30% conforme proposto pelo estudo (Fahnestock et al., 1996);

Tabela 2.9 – Custo da redução de produtividade, valores anuais; (Fahnestock et al., 1996; FAO, 2009; Heaton et al., 2004; Williams, 2010)

CE	FIGUEIRA			EVORA			SANTAREM		
	<i>Beta vulgaris</i>	<i>Arundo donax</i>	<i>Miscanthus</i>	<i>Beta vulgaris</i>	<i>Arundo donax</i>	<i>Miscanthus</i>	<i>Beta vulgaris</i>	<i>Arundo donax</i>	<i>Miscanthus</i>
CRS [K€]	330,73	225,37	102,96	185,62	126,48	57,78	355,1	241,96	110,54
PP [€/Mg]	33,63	33,73	29,89	33,63	33,73	29,89	33,63	33,73	29,89
Q [Mg]	14.049,28	9.545,07	4.920,90	7.884,80	5.356,72	2.761,47	15.084,16	10.247,76	5.283,16
Yr [%]	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%

CRS – Custo de reclamação do solo, [K€];

PP – Preço do produto, [€/Mg];

Q – Quantidade da CE produzida, [Mg];

Yr – Redução de rendimento da produtividade, [%].

2.5.4. Custo de deterioração do aquífero, CDA

Para o custo de deterioração do aquífero, CDA, considera-se que o azoto é o elemento que mais deteriora o aquífero sendo normalmente o que se apresenta em maior quantidade num efluente de tratamento secundário, assim são considerados os custos para a desnitrificação, (Haruvy, 1997);

Tabela 2.10 – Custo de deterioração do aquífero, valores anuais; (Haruvy, 1997; Muñoz and Grieser, 2006)

CE	FIGUEIRA			EVORA			SANTAREM		
	<i>Beta vulgaris</i>	<i>Arundo donax</i>	<i>Miscanthus</i>	<i>Beta vulgaris</i>	<i>Arundo donax</i>	<i>Miscanthus</i>	<i>Beta vulgaris</i>	<i>Arundo donax</i>	<i>Miscanthus</i>
CDA [M€]	6,6	3,6	5,4	9,2	7,6	8,6	9,9	9,1	9,7
IR [GL]	20,8	11,5	17,2	47,6	39,2	44,3	31,2	28,8	30,7
Área [ha]	125,44	240,43	160,29	134,68	258,13	172,09	70,4	134,93	89,95
IR [ML/ha]	165,6	47,8	107,5	353,5	151,8	257,7	443,6	213,2	341,1
CDN [€/m ³]	0,316	0,316	0,316	0,193	0,193	0,193	0,316	0,316	0,316

CDA – Custo de deterioração do aquífero, [M€];

IR – Requisito de Irrigação, [ML/ha]/[GL];

CDN – Custo de desnitrificação, 0,316€ e 0,193€ capacidade até 4Mm³/a e 14Mm³/a, respectivamente, (Haruvy, 1997).

2.5.5. Custo capital e operacional da ETAR, CCOET

O Custo capital e operacional da ETAR, CCOET, foi determinado com o valor proposto pelo estudo, (Haruvy, 1997), para ETAR's com tratamento secundário;

Tabela 2.11 – Custo capital e operacional da ETAR, valores anuais; (Haruvy, 1997; Muñoz and Grieser, 2006)

CE	FIGUEIRA			EVORA			SANTAREM		
	<i>Beta vulgaris</i>	<i>Arundo donax</i>	<i>Miscanthus</i>	<i>Beta vulgaris</i>	<i>Arundo donax</i>	<i>Miscanthus</i>	<i>Beta vulgaris</i>	<i>Arundo donax</i>	<i>Miscanthus</i>
CCOET [M€]	3,5	1,9	2,9	8,0	6,5	7,4	5,2	4,8	5,1
CCOET [€/m ³]	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167	0,167
IR [GL]	20,8	11,5	17,2	47,6	39,2	44,3	31,2	28,8	30,7
Área [ha]	125,44	240,43	160,29	134,68	258,13	172,09	70,4	134,93	89,95
IR [ML/ha]	165,6	47,8	107,5	353,5	151,8	257,7	443,6	213,2	341,1

2.5.6. Custos para a saúde humana, CS

Os Custos para a saúde humana, CS, ou valor da perda de saúde resultante da irrigação com ÁR's, L , apresenta uma abordagem com alguma complexidade, onde a informação disponível é pouca ou inexistente. Uma vez que se trata de uma pratica pouco usual em Portugal, foi necessário, determinar os CS, considerando uma abordagem alternativa. Assim, para os indicadores propostos por, (Kanyoka and Eshtawi, 2012), como, perda anual de trabalho por motivos de doenças relacionadas com as ÁR's, Ti ; Tempo de trabalho médio perdido, Hi ; Incidentes relacionados, Li , e incidentes não relacionados, Lo ; Foram assim considerados respectivamente, Ti – ganhos produtivos com a prevenção de doenças diarreicas; Hi – dias produtivo ganhos; Li – casos evitados; Lo – doenças diarreicas verificadas, valores disponíveis em, (Hutton and Haller, 2004). Foram ainda considerados alguns dados estatísticos nacionais como a população residente em cada um dos locais propostos e a superfície territorial dos mesmos; (INE, 2011a; INE and IGP, 2011). O método analítico proposto por (Kanyoka and Eshtawi, 2012), considera ainda o capital humano, factor determinante para o sucesso da sociedade e respectiva economia, onde as pessoas são consideradas como recursos valorizáveis,

dependendo do seu conhecimento, formação, cultura, entre outros aspectos. Para este indicador, considerou-se conforme o sumário do concelho político de Lisboa (Ederer, 2006);

Tabela 2.12 – Custos para a saúde humana, valores anuais; (Ederer, 2006; Hutton and Haller, 2004; INE, 2011a; INE, 2011b; INE and IGP, 2011);

CE	FIGUEIRA			EVORA			SANTAREM		
	<i>Beta vulgaris</i>	<i>Arundo donax</i>	<i>Miscanthus</i>	<i>Beta vulgaris</i>	<i>Arundo donax</i>	<i>Miscanthus</i>	<i>Beta vulgaris</i>	<i>Arundo donax</i>	<i>Miscanthus</i>
L [M€]	359,7	689,4	459,6	53,3	102,2	68,1	261,6	501,5	334,3
P [K€/pess]	69,56	69,56	69,56	69,56	69,56	69,56	69,56	69,56	69,56
M [nºpess]	206	394	263	30	58	39	150	287	191
Ti [€/pess]	2,61	2,61	2,61	2,61	2,61	2,61	2,61	2,61	2,61
Yi [€/pess]	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007
Hi [a/pess]	0,000232	0,000232	0,000232	0,000232	0,000232	0,000232	0,000232	0,000232	0,000232
Li [nºpess]	9,69	9,69	9,69	9,69	9,69	9,69	9,69	9,69	9,69
L0 [nºpess]	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
A [€/pess]	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19
Pop.Resid. [nºpess]	62.125	62.125	62.125	56.596	56.596	56.596	62.200	62.200	62.200
Á.Cutivo/Á.Tot. [%]	0,33%	0,63%	0,42%	0,05%	0,10%	0,07%	0,24%	0,46%	0,31%
Área [ha]	125,44	240,43	160,29	70,4	134,93	89,95	134,68	258,13	172,09
Sperf.Territ. [ha]	37.910	37.910	37.910	130.710	130.710	130.710	56.020	56.020	56.020

L – Valor da perda de saúde resultante da irrigação com ÁR's, [M€];

P – Capital humano per capita, [K€/pess];

M – Número de pessoas expostas às áreas irrigadas com ÁR's, [nºpess.];

Ti – Ganhos produtivos por prevenção de doenças diarreicas através do tratamento dos efluentes de ÁR's, [€/pess.];

Yi – Despesa média com cuidados médicos e de enfermagem, em pessoas com doenças relacionadas com as ÁR's, [€/pess.];

Hi – Dias produtivos ganhos por prevenção de doenças diarreicas através do tratamento dos efluentes de ÁR's, [a/pess.];

Li – Incidentes evitados de doenças diarreicas através do tratamento dos efluentes de ÁR's, [nºpess.];

L0 – Incidentes de doenças diarreicas, não relacionadas com ÁR's, [nºpess.];

A – Custo anual com intervenções de saneamento permitindo reduzir o risco de doenças relacionadas com as ÁR's, [€/pess.].

Após a determinação das variáveis propostas para o respectivo cálculo analítico segundo, (Kanyoka and Eshtawi, 2012), é possível quantificar os custos para a saúde através da seguinte equação;

$$L = \{PTi(Li - L0) + Yi(Li - L0) + PHi(Li - L0)\}M + A$$

2.5.7. Benefícios totais da reutilização de ÁR's

Por último, foi possível efetuar a análise de custo-benefício pelo pressuposto que, caso o valor obtido fosse negativo, nenhum benefício existiria na reutilização do efluente para irrigação das CE's e respectivos locais propostas. Sendo o valor positivo, a reutilização das ÁR's seria uma alternativa viável à atual pratica, considerando que os decisores deverão otimizar os retornos e os custos para assegurar que alguns factores que existem por detrás dos utilizados, possam afectar consideravelmente alguns termos na equação, alterando de forma não expectada o custo total da ÁR; (Kanyoka and Eshtawi, 2012)

Os benefícios totais da reutilização de ÁR's, que permitiram efetuar a análise socioeconómica, foram calculados através da equação;

$$BTRAR = (BL + BFRA) - (CRS + CDA + CS + CCOET)$$

BTRAR – Benefícios totais de reutilização de ÁR's;

BL – Benefícios Líquidos;

BFRA – Benefício da função de recarga do aquífero;

CRS – Custo de reclamação do solo;

CDA – Custo de deterioração do aquífero;

CS – Custo relacionados com a Saúde;

CCOET – Custos de capital e operacional da ETAR.

* Valores em €

3. Resultados e Discussão

A irrigação de culturas energéticas com ÁR's apresenta uma solução com dois propósitos importantes, a produção de energia e um sistema de bio-remediação para as ÁR's; (Rosenqvist and Dawson, 2005). Apesar dos dois propósitos, serem bastante relevantes, deverá ser avaliada a viabilidade do SI, pois irão existir custos de implementação e de manutenção.

Considerando um terreno com uma área de 2,88ha, (tabela 2.1), os custos de manutenção serão iguais ao rendimento obtido com a CE considerada no estudo, (Rosenqvist and Dawson, 2005), no entanto, esta área não será suficiente para pagar o investimento feito. Como os valores representativos da redução de custo da utilização de fertilizantes, (tabela 1.17), consumo de água da rede de abastecimento e aumento da produtividade da CE derivada da presença de N, K, P no efluente, não se encontram considerados, leva-nos a concluir que para um terreno de 3ha, a aplicação de um SI com ÁR's será viável. Pois a poupança global da redução dos custos referidos, será suficiente para cobrir os custos de implementação. Estes, serão influenciados por diversos aspectos, um destes, relevante para a avaliação do potencial de irrigação de CE com ÁR's em Portugal, será a distância máxima do SI. O custo de manutenção de acordo com o estudo, (Rosenqvist and Dawson, 2005), para um sistema de irrigação com 4km de distância entre a ETAR e o terreno agrícola, iria ser igual à produtividade obtida com a respectiva CE considerada, o que permitiria tornar a sua implementação sustentável. Assim, a distância de 4km indica-nos a distância máxima para a implementação do SI, (tabela 2.2). Mais uma vez, da mesma forma que para a área mínima, a distância máxima calculada poderá variar de acordo com a produtividade da respectiva CE, devendo assim, ser verificada de acordo com a selecionada. Neste caso assumiu-se a distância de 4km apesar da possível variação dependente da produtividade da CE.

Após a comparação da quantidade de efluente, área arável disponível, dentro dum perímetro de 4km de proximidade à ETAR e tipologia do terreno, considerou-se as seguintes ETAR's para análise;

Tabela 3.1 – ETAR's com potencial elevado para reaproveitamento do efluente descarregado, em irrigação de CE's;

Designação da ETAR	Área [ha]			Caudal Máximo [m ³ /h]	Caudal Mínimo [m ³ /h]	Volume anual de efluente [m ³]
	Total	Terreno Acidentado	Terreno Plano			
ÉVORA	714,44	0,00	714,44	-	-	4.609.201
FIGUEIRA DA FOZ	1444,69	1090,11	351,58	-	-	2.683.172
SANTARÉM	535,74	26,81	508,93	-	-	1.957.584

Concluindo que as ETAR's, referidas na tabela 3.1, apresentam um elevado potencial para irrigação de culturas, pelas características apresentadas.

Relativamente à qualidade dos efluentes produzidos, todas as ETAR's apresentam tratamento secundário, como já referido, adequado à reutilização das ÁR's para aplicações de irrigação de culturas não alimentares, (Bixio et al., 2006). As suas entidades gestoras apresentam uma boa qualidade de serviço, fornecendo efluentes de boa qualidade, caracterizados pela percentagem de análises em cumprimento com os valores paramétricos;

Tabela 3.2 – Qualidade de serviço das ETAR's e/ou cumprimento dos parâmetros de descarga;

Designação da ETAR	Entidade Gestora (EG)	Cumprimento dos parâmetros de descarga [%]	
ÉVORA	Águas do Centro Alentejo, SA	100	(ERSAR, 2010)*
FIGUEIRA DA FOZ	Águas da Figueira, SA	100	(ERSAR, 2012)
SANTARÉM	Águas de Santarém, SA	100	(ERSAR, 2012)

* Dados não disponíveis em (ERSAR, 2012)

As culturas energéticas selecionadas, *Miscanthus*, *Arundo donax L.* e *Beta Vulgaris*, são das que apresentam maior produtividade para a zona ambiental ATC-LUS, onde Portugal se encontra, tabela 1.2 e 1.3; (EEA, 2007). O facto destas culturas serem tolerantes a metais pesados e a elevada salinidade, tabela 1.4, (Bonanno et al., 2013; Ezaki et al., 2008; Pescod, 1992; Zema et al., 2012), e de serem utilizadas para sistemas solo-planta para bio remediação leva-nos a considerá-las como CE's com elevado potencial para a sua produção sobre irrigação de ÁR's em Portugal.

Comparando as necessidades hídricas das três culturas com o volume de efluente tratado disponível das três ETAR's, verificamos que a área possível de irrigar é bastante superior à área mínima viável (3ha) e inferior à disponível plana dentro do perímetro definido para a respectiva ETAR, o que permite concluir que existe recurso de efluente suficiente para a irrigação das culturas energéticas selecionadas;

Tabela 3.3 – Capacidade de irrigação por ETAR e por cultura; (Brouwer and Heibloem, 1986)

Designação da ETAR	Volume mensal de efluente [l]	Terreno Plano [ha]	CE's	ETCrop [l/mes.ha]		Capacidade Irrigação [ha]
				Meia Etapa	Meia Etapa	
FIGUEIRA F.	223.597.667	351,58	<i>Beta vulgaris</i>	0,67	1.782.500	125,44
			<i>Arundo donax</i>	0,35	930.000	240,43
			<i>Miscanthus</i>	0,52	1.395.000	160,29
SANTARÉM	163.132.000	508,93	<i>Beta vulgaris</i>	0,87	2.317.250	70,40
			<i>Arundo donax</i>	0,45	1.209.000	134,93
			<i>Miscanthus</i>	0,68	1.813.500	89,95
ÉVORA	384.100.083	714,44	<i>Beta vulgaris</i>	1,06	2.852.000	134,68
			<i>Arundo donax</i>	0,56	1.488.000	258,13
			<i>Miscanthus</i>	0,83	2.232.000	172,09

Podemos verificar que, apesar da possível viabilidade de aplicação das três CE's em qualquer um dos locais, o *Miscanthus* e o *Arundo donax*, diferenciam-se pela sua necessidade hídrica baixa, possibilitando uma maior área de utilização e consequentemente maior produtividade. Através da capacidade de irrigação, verifica-se que o efluente produzido não é suficiente para irrigar toda a área arável considerada, apenas de acordo com as diferentes necessidades hídricas, uma parte desta é possível irrigar, reduzindo assim a área disponível para a produção das CE's.

De acordo com os parâmetros utilizados para a caracterização dos solos e comparando com a das CE's seleccionadas podemos concluir o seguinte;

pH, tanto o dos solos de superfície como os do subsolo, são inferiores a 9, valor limite para efluente de descarga de acordo com o Decreto Lei 236/1998, ainda, considerando que as ETAR's apresentam um cumprimento dos parâmetros de 100%, conclui-se que o *pH* não irá prejudicar a produtividade das culturas nas localizações apresentadas. O *pH* não é por si um problema, no entanto, poderá ser um indicador de qualidade; (Pescod, 1992).

A Salinidade, avaliada pela Condutividade Elétrica, *Electric Conductivity EC*, em nenhuma localização o solo revela ser superior a 2,5 dS/m, um indício, segundo (Ayers and Westcot, 1976; Pescod, 1992; Williams, 2010), que as CE's seleccionadas não terão a sua produtividade afectada. No entanto, para o local referente à amostra 1 da Figueira da Foz, será expectável uma redução de 50% na produtividade tornando o local impróprio para a produção das culturas; (Ayers and Westcot, 1976; Ezaki et al., 2008; Williams, 2010).

A matéria orgânica presente no solo é um indicador de qualidade do mesmo, quando existe em abundância. Para calcular o seu conteúdo, considera-se que 58% é Carbono; (Australian, 2007). Assim, o facto de todas as amostras apresentarem um valor de SOC, *Soil Organic Carbon*, Carbono orgânico do Solo, >58%, conclui-se que os solos apresentam matéria orgânica acima do normal. No entanto, para as amostras 1 e 3 de Évora e amostra 1 da Figueira F., verifica-se que estes locais apresentam pouca matéria orgânica. O subsolo apresenta valores reduzidos como seria espectável, uma vez que é na superfície onde se encontra a maior quantidade de matéria orgânica. Uma vez que o efluente apresenta matéria orgânica na sua composição, irá desempenhar um papel importante para adicioná-la ao respectivo solo, esta, é

avaliada pelos parâmetros CBO e/ou CQO, que quantificam o oxigénio necessário para oxidar a matéria orgânica existente.

Tabela 3.4 – Análise físico-química da ETAR Figueira da Foz, 02-12-2012;

Parâmetros	VLE DL 236/98	Figueira da Foz 02.12.12	
		AB	ET
pH	6,0-9,0	7,1	7,1
CBO5 [mg/l O2]	40	706	19
CQO [mg/l O2]	150	1760	62
SST [mg/l]	60	490	19
Azoto total [mg/l N]	15	75	12
Fósforo total [mg/l P]	10	13	3,2
Nitratos [mg/l N]	50	2,5	3,1
CF [u.f.c./100ml]	-	-	0

AB – Afluente Bruto;
ET – Efluente Tratado.

Na tabela 3.4 verificamos que os valores de emissão para dada altura da amostra representada encontra-se dentro dos VLE, como seria esperado, uma vez que as três ETAR's consideradas apresentam um desempenho de cumprimento de 100%, como anteriormente representado na tabela 3.2.

Relativamente à percentagem de sódio em mudança de fase, ESP ou o rácio de absorção de sódio, SAR, as culturas são tolerantes [40-60%]; (Bonanno et al., 2013; Pearson, 1960; Zema et al., 2012), o que indica que as CE's podem ser produzidas, relativamente a este indicador, em qualquer um dos locais indicados. Pois, qualquer um deles não apresenta um valor superior a 60%. Relativamente aos efluentes, estes poderão apresentar valores de Na - 17 me/l, Ca e Mg - 0,5 me/l de acordo com a figura 1.3; (Pescod, 1992).

4. Conclusão

Após avaliadas as CE's, os efluentes e os solos efetuou-se a análise sócio económica de custo-benefício para a reutilização dos efluentes das ETAR's propostas, Figueira da Foz, Évora e Santarém, na irrigação das CE's respectivas, *Beta vulgaris* (Beterraba), *Arundo donax* (Cana-do-reino) e *Miscanthus* (Miscanthus), obtendo assim os seguintes resultados;

Tabela 4.1 – Análise custo-benefício da reutilização de ÁR's para irrigação de CE's em Portugal;

[unidades em M€]

CE	FIGUEIRA			EVORA			SANTAREM		
	<i>Beta vulgaris</i>	<i>Arundo donax</i>	<i>Miscanthus</i>	<i>Beta vulgaris</i>	<i>Arundo donax</i>	<i>Miscanthus</i>	<i>Beta vulgaris</i>	<i>Arundo donax</i>	<i>Miscanthus</i>
BTRAR	-30,10	201,89	-6,83	15,52	120,29	15,66	-163,97	-204,10	-207,43
BL	0,47	0,32	0,14	0,50	0,34	0,15	0,26	0,18	0,08
BFRA	339,47	896,73	461,05	85,68	236,41	99,67	112,85	311,33	141,74
CRS	-0,33	-0,23	-0,10	-0,19	-0,13	-0,06	-0,36	-0,24	-0,11
CDA	-6,57	-3,63	-5,44	-9,19	-7,56	-8,56	-9,87	-9,09	-9,70
CS	-359,67	-689,38	-459,60	-53,33	-102,22	-68,15	-261,64	-501,47	-334,32
CCOET	-3,47	-1,92	-2,88	-7,95	-6,55	-7,40	-5,22	-4,80	-5,12

BTRAR – Benefícios totais de reutilização de ÁR's;

BL – Benefícios Líquidos;

BFRA – Benefício da função de recarga do aquífero;

CRS – Custo de reclamação do solo;

CDA – Custo de deterioração do aquífero;

CS – Custos relacionados com a Saúde;

CCOET – Custos de capital e operacional da ETAR.

Na tabela 4.1 podemos verificar que os factores que representam um custo-benefício mais significativo, são respectivamente o *CS* e o *BFRA*. O *CS* é mais elevado na Figueira da Foz e mais reduzido em Évora, podendo este facto ser observado através da tabela 2.12. Para este custo verifica-se que a relação entre a área considerada arável plana, área de cultivo, e a área total do concelho de acordo com a quantidade de efluente disponível na ETAR da Figueira da Foz (tabela 3.3), e a área total do concelho, é das maiores, quando comparando com Santarém e Évora. Isto resulta numa maior quantidade de pessoas expostas às áreas irrigadas com ÁR's indicando uma densidade populacional na zona da Figueira da Foz elevada e Évora a que menor densidade apresenta. Como o cálculo do *CS*, tem como importante referência as pessoas, resulta assim num custo mais elevado para a Figueira da Foz, seguindo Santarém e por último, com uma diferença bastante significativa, Évora. Também, como todas as outras variáveis do cálculo do *CS*, são consideradas iguais para os três locais, a densidade populacional será assim determinante para este factor de custo. No factor *BFRA*, verificamos que apesar dos valores considerados para a tarifa da água potável (PAP), para os diferentes locais (tabela 2.8), serem diferentes, a variável com maior expressão é o requisito de irrigação para cada cultura, *IR*, onde maior exemplo de expressividade é para a CE *Arundo donax* na Figueira da Foz que associa a baixa evapotranspiração da CE (*ETcrop*) no local, com a elevada quantidade de chuva efetiva (*ER*) para o mesmo, resultando num *IR*, mais reduzido de todos os locais e CE's. Assim, permitindo obter um valor mais elevado de água lixiviada para o solo, representado o maior benefício de recarga do aquífero. Évora, para este factor *BFRA*, não apresenta o menor benefício, devido à elevada área de cultivo considerada/disponível, pois, relativamente ao *IR* é o local com os valores mais elevados devido à elevada *ETcrop*.

Concluindo, considerando principalmente estes dois factores, verifica-se que *Arundo donax* na Figueira da Foz e qualquer uma das três CE's ou mesmo todas, em Évora, com destaque o *Arundo donax*, apresentam benefícios na reutilização dos efluentes em irrigação. Com base nas considerações referidas e evidências recolhidas, podemos afirmar que em Portugal, estes dois locais para as CE's referidas, apresentam um elevado potencial de irrigação com ÁR's, com benefícios referentes à produção resultante.

No entanto, uma vez que o *Arundo donax*, apesar das características convenientes para o respectivo estudo, representa uma espécie invasora nos habitats ribeirinhos e em zonas afectadas com frequência por cheias, sendo mesmo considerada pela união de conservação do grupo mundial de espécies invasoras das 100 espécies mais invasoras do mundo, (Giessow et al., 2011), a sua produção deverá ser analisada e cuidada, de forma a não existir um impacte negativo no ecossistema onde será introduzida. Atualmente, face ao elevado interesse desta CE por razões já anteriormente apresentadas, encontra-se soluções de gestão e controlo para o cultivo e respectiva produção das mesmas, tornando a sua disseminação mais difícil e consequentemente controlada, utilizando técnicas de cultivo apropriadas, tornando a viabilidade de produção desta CE, novamente positiva, (Kui et al., 2013).

5. Bibliografia

- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. (1998) Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome 300:6541.
- Angelakis A.N., Durham B. (2008) Water recycling and reuse in EUREAU countries: Trends and challenges. *Desalination* 218:3-12.
- Angelini L.G., Ceccarini L., Nasso N., Bonari E. (2009) Comparison of *Arundo donax* L. and *Miscanthus x giganteus* in a long-term field experiment in Central Italy: Analysis of productive characteristics and energy balance. *Biomass and Bioenergy* 33:635-643.
- Australian G.O. (2007) Soil organic carbon, Indicator protocols for soil condition. Indicator Protocols National Land and Water Resources Audit, Australia.
- Ayers R.S., Westcot D.W. (1976) Water quality for agriculture FAO Rome.
- Bahmanyar M.A. (2008) Cadmium, Nickel, Chromium, and Lead Levels in Soils and Vegetables under Long term Irrigation with Industrial Wastewater. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 39:2068-2079.
- Bixio D., Thoeve C., De Koning J., Joksimovic D., Savic D., Wintgens T., Melin T. (2006) Wastewater reuse in Europe. *Desalination* 187:89-101.
- Bonanno G., Cirelli G.L., Toscano A., Giudice R.L., Pavone P. (2013) Heavy metal content in ash of energy crops growing in sewage-contaminated natural wetlands: Potential applications in agriculture and forestry? *Science of The Total Environment*:349-354.
- Brouwer C., Heibloem M. (1986) Irrigation water management: Irrigation water needs. Training manual 3.
- Chen F., Ying G.-G., Kong L.-X., Wang L., Zhao J.-L., Zhou L.-J., Zhang L.-J. (2011) Distribution and accumulation of endocrine-disrupting chemicals and pharmaceuticals in wastewater irrigated soils in Hebei, China. *Environmental Pollution* 159:1490-1498.
- Chen Y., Wang C., Wang Z. (2005) Residues and source identification of persistent organic pollutants in farmland soils irrigated by effluents from biological treatment plants. *Environment International* 31:778-783.
- Costello L.R., Matheny N.P., Clark J.R., Jones K.S. (2000) A Guide to Estimating Irrigation Water Needs of Landscape Plantings in California University of California Cooperative Extension California Department of Water Resources.
- Ederer P. (2006) Innovation at Work: The European Human Capital Index.
- EEA (2007) Estimating the environmentally compatible bioenergy potential from agriculture.
- El Diwani G., Attia N., Hawash S. (2009) Development and evaluation of biodiesel fuel and by-products from jatropha oil. *International Journal of Environmental Science and Technology* 6:219-224.
- ERSAR (2010) Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal. E. R. S. d. Á. e. Resíduos
- ERSAR (2012) Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal. E. R. S. d. Á. e. Resíduos
- Ezaki B., Nagao E., Yamamoto Y., Nakashima S., Enomoto T. (2008) Wild plants, *Andropogon virginicus* L. and *Miscanthus sinensis* Anders, are tolerant to multiple stresses including aluminum, heavy metals and oxidative stresses. *Plant Cell Reports* 27:951-961.
- Fahnestock P., Lal R., Hall G.F. (1996) Land Use and Erosional Effects on Two Ohio Alfisols. *Journal of Sustainable Agriculture* 7:85-100.
- FAO (2004) UBET, Unified Bioenergy Terminology.
- FAO. (2009) Agribusiness Handbook: Sugar Beet White Sugar. FAO's Rural Infrastructure and Agro-Industries Division.
- Gatica J., Cytryn E. (2013) Impact of treated wastewater irrigation on antibiotic resistance in the soil microbiome. *Environmental Science and Pollution Research* 20:3529-3538.
- Giessow J., Leclerc R., MacArthur R., Fleming G. (2011) *Arundo donax* (giant reed): Distribution and Impact Report.
- Gupta S., Satpati S., Nayek S., Garai D. (2010) Effect of wastewater irrigation on vegetables in relation to bioaccumulation of heavy metals and biochemical changes. *Environmental Monitoring and Assessment* 165:169-177.
- Haruvy N. (1997) Agricultural reuse of wastewater: nation-wide cost-benefit analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 66:113-119.
- Hasselgren K. (1998) Use of municipal waste products in energy forestry: highlights from 15th years of experience. *Biomass and Bioenergy* 15:71-74.

- Heaton E.A., Long S.P., Voigt T.B., Jones M.B., Clifton-Brown J. (2004) *Miscanthus* for renewable energy generation: European Union experience and projections for Illinois. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 9:433-451.
- Hochstrat R., Wintgens T., Melin T., Jeffrey P. (2006) Assessing the European wastewater reclamation and reuse potential - a scenario analysis. *Desalination* 188:1-8.
- Hutton G., Haller L. (2004) Evaluation of the costs and benefits of water and sanitation improvements at the global level. *Water, Sanitation, and Health, Protection of the Human Environment*, World Health Organization.
- IM (2012) Boletim Meteorológico para a Agricultura agosto 2012. I. P. Meteorologia
- INE (2011a) Censos 2011.
- INE (2011b) Superfície das terras aráveis (ha) das explorações agrícolas por Localização geográfica (NUTS - 2002) e Tipo de cobertura do solo, Decenal.
- INE, IGP (2011) Superfície (km²) do território nacional por Localização geográfica; Anual.
- INSAAR (2008) ETAR/FS.
- Kanyoka P., Eshtawi T. (2012) Analyzing the trade-offs of wastewater re use in agriculture: An Analytical framework.
- Khan S., Cao Q., Zheng Y.M., Huang Y.Z., Zhu Y.G. (2008) Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China. *Environmental Pollution* 152:686-692.
- Kui L., Li F., Moore G., West J. (2013) Can the riparian invader, *Arundo donax*, benefit from clonal integration? *Weed Research* 53:370-377.
- Langeveld J., Schilperoord R., Weijers S. (2012) Climate change and urban wastewater infrastructure: There is more to explore. *Journal of Hydrology*.
- Lewandowski I., Scurlock J.M.O., Lindvall E., Christou M. (2003) The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. *Biomass and Bioenergy* 25:335-361.
- Maas E. (1993) Testing crops for salinity tolerance, *Proc. Workshop on Adaptation of Plants to Soil Stresses*. p. pp. 247.
- Manios T., Tsanis I.K. (2006) Evaluating water resources availability and wastewater reuse importance in the water resources management of small Mediterranean municipal districts. *Resources, conservation and recycling* 47:245-259.
- Mapanda F., Mangwayana E.N., Nyamangara J., Giller K.E. (2005) The effect of long-term irrigation using wastewater on heavy metal contents of soils under vegetables in Harare, Zimbabwe. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 107:151-165.
- Marecos do Monte H., Albuquerque A. (2010) Reutilização de águas residuais.
- Máthéné Gáspár G., Anton A. (2004) Toxikuselem-szennyeződés káros hatásainak mérséklése fitoremediációval. *Agrokémia és Talajtan* 53:413-432.
- Mlinarics E., Dergez Á., Blaskó L., Bordás D., Zsigrai G., Kiss I., Szabó S. (2009) Possibilities of Plant Production for biorefinery on a Soil Contaminated with Heavy Metals. *Analele Universității din Oradea, Fascicula: Protecția Mediului XIV*.
- Muñoz G., Grieser J. (2006) *Climwat 2.0 for CROPWAT*.
- Murányi A., Ködöböcz L. (2008) Heavy metal uptake by plants in different phytoremediation treatments. *Cereal Res. Commun.* 36:387-390.
- Murillo J.M., Marañón T., Cabrera F., López R. (1999) Accumulation of heavy metals in sunflower and sorghum plants affected by the Guadamar spill. *Science of The Total Environment* 242:281-292.
- Nachtergaele F., Batjes N. (2012) Harmonized world soil database FAO.
- Panella L. (2010) Sugar beet as an energy crop. *Sugar Tech* 12:288-293.
- Patz J.A., Vavrus S.J., Uejio C.K., McLellan S.L. (2008) Climate change and waterborne disease risk in the Great Lakes region of the US. *American journal of preventive medicine* 35:451-458.
- Pearson G.A. (1960) Tolerance of crops to exchangeable sodium. *Agricultural Research Service*.
- Pedersen J.A., Yeager M.A., Suffet I.H. (2003) Xenobiotic organic compounds in runoff from fields irrigated with treated wastewater. *J Agric Food Chem* 51:1360-72.
- Pescod M. (1992) Wastewater treatment and use in agriculture. *FAO Irrigation and Drainage Papers* FAO, Rome.
- Pilu R., Bucci A., Badone F.C., Landoni M. (2012) Giant reed (*Arundo donax* L.) : A weed plant or a promising energy crop? *African Journal of Biotechnology* 11:9163 - 9174.

- Rosenqvist H., Dawson M. (2005) Economics of using wastewater irrigation of willow in Northern Ireland. *Biomass and Bioenergy* 29:83-92.
- Sa-nguanduan N., Nititvattananon V. (2011) Strategic decision making for urban water reuse application: A case from Thailand. *Desalination* 268:141-149.
- Savva A.P., Frenken K. (2002) Crop water requirements and irrigation scheduling. F. S.-R. O. f. E. a. S. Africa
- Singh A., Agrawal M. (2010) Effects of municipal waste water irrigation on availability of heavy metals and morpho-physiological characteristics of *Beta vulgaris* L. *Journal of Environmental Biology* 31:727-736.
- Song Y.F., Wilke B.M., Song X.Y., Gong P., Zhou Q.X., Yang G.F. (2006) Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), polychlorinated biphenyls (PCBs) and heavy metals (HMs) as well as their genotoxicity in soil after long-term wastewater irrigation. *Chemosphere* 65:1859-1868.
- Sun K., Zhao Y., Gao B., Liu X., Zhang Z., Xing B. (2009) Organochlorine pesticides and polybrominated diphenyl ethers in irrigated soils of Beijing, China: levels, inventory and fate. *Chemosphere* 77:1199-205.
- Tsoutsos T., Chatzakis M., Sarantopoulos I., Nikologiannis A., Pasadakis N. (2013) Effect of wastewater irrigation on biodiesel quality and productivity from castor and sunflower oil seeds. *Renewable Energy* 57:211-215.
- US Salinity L. (1954) Diagnosis and improvement of saline and alkali soils U.S. Dept. of Agriculture, Washington, D.C.
- Venendaal R., Jorgensen U., Foster C.A. (1997) European energy crops: A synthesis. *Biomass and Bioenergy* 13:147-185.
- Wade Miller G. (2006) Integrated concepts in water reuse: managing global water needs. *Desalination* 187:65-75.
- Walker C.W., Watson J.E., Williams C. (2012) Occurrence of Carbamazepine in Soils under Different Land Uses Receiving Wastewater. *J. Environ. Qual.* 41:1263-1267.
- Wang Q.-R., Cui Y.-S., Liu X.-M., Dong Y.-T., Christie P. (2003) Soil Contamination and Plant Uptake of Heavy Metals at Polluted Sites in China. *Journal of Environmental Science and Health, Part A* 38:823-838.
- Weirich S.R., Silverstein J., Rajagopalan B. (2011) Effect of average flow and capacity utilization on effluent water quality from US municipal wastewater treatment facilities. *Water research* 45:4279-4286.
- Williams C.M.J. (2010) Commercial potential of Giant Reed for pulp, paper and biofuel production / by Chris Williams and Tapas Biswas. RIRDC publication ; no. 10/215. Rural Industries Research and Development Corporation, Barton, A.C.T.
- Xu J., Wu L., Chen W., Jiang P., Chang A.C.-S. (2009) Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs), and endocrine disrupting compounds (EDCs) in runoff from a potato field irrigated with treated wastewater in southern California. *Journal of health science* 55:306-310.
- Zema D.A., Bombino G., Andiloro S., Zimbone S.M. (2012) Irrigation of energy crops with urban wastewater: Effects on biomass yields, soils and heating values. *Agricultural Water Management* 115:55-65.